



PROPOSAL TUGAS AKHIR - MO141326

**ANALISIS TEGANGAN DARI UPAYA MITIGASI *UPHEAVAL*  
*BUCKLING PIPELINE 16"* ANTARA *BLOCK VALVE 2* SAMPAI  
*BLOCK VALVE 3***

**ANADYA RESTIANA**

**NRP. 04311440000142**

Dosen Pembimbing

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D

**DEPARTEMEN TEKNIK KELAUTAN**

**Fakultas Teknologi Kelautan**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya**

**2018**



FINAL PROJECT - MO141326

***STRESS ANALYSIS OF UPHEAVAL BUCKLING MITIGATION ON  
PIPELINE 16" BETWEEN BLOCK VALVE 2 TO BLOCK VALVE 3***

**ANADYA RESTIANA**

**NRP. 04311440000142**

Supervisors

Ir. Imam Rochani, M.Sc.

Ir. Handyanu, M.Sc., Ph.D.

**OCEAN ENGINEERING DEPARTEMENT**

**Faculty Of Marine Technology**

**Sepuluh Nopember Institute Of Technology**

**Surabaya**

**2018**



**ANALISIS TEGANGAN DARI UPAYA MITIGASI *UPHEAVAL*  
*BUCKLING PIPELINE 16"* ANTARA *BLOCK VALVE 2 -*  
*SAMPAI BLOCK VALVE 3***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana  
Teknik Pada Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan Fakultas  
Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

Oleh :

ANADYA RESTIANA

NRP. 04311440000142

Disetujui oleh :

1. Ir. Imam Rochani, M.Sc.

(Pembimbing 1)

2. Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

(Pembimbing 2)

3. Dr. Eng. Yeyes Mulyadi, S.T., M.Sc.

(Penguji 1)

4. Nur Syahroni, S.T., M.T., Ph.D

(Penguji 2)

5. Ir. Mas Murtedjo, M. Eng

(Penguji 3)



**ANALISIS TEGANGAN DARI UPAYA MITIGASI *UPHEAVAL*  
*BUCKLING PIPELINE 16"* ANTARA *BLOCK VALVE 2* -  
*SAMPAI BLOCK VALVE 3***

Nama Mahasiswa : Anadya Restiana  
NRP : 04311440000142  
Jurusan : Departemen Teknik Kelautan FTK -ITS  
Dosen Pembimbing : Ir. Imam Rochani, M.Sc.  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

***ABSTRAK***

*Underground pipeline* merupakan salah satu moda transportasi *crude oil* yang sering digunakan di daratan karena bersifat ekonomis dan aman dari aktivitas daratan. Dalam kondisi operasi, *underground pipeline* mengalami pergerakan ke segala arah yang akan ditahan oleh berat pipa, berat fluida yang terkandung, dan berat timbunan tanah diatasnya (gaya friksi tanah). Kenaikan temperature operasi dan *imperfection height* tanah menjadi penyebab utama terjadinya *overstress* serta gaya friksi tanah akan mengalami degradasi nilai yang tidak mampu lagi menahan gaya aksial ke atas pipa. Deformasi global pada pipa akan berpotensi memicu terjadinya kegagalan pipa dalam bentuk *upheaval buckling*. Salah satu kasus *upheaval buckling* yang pernah terjadi adalah *upheaval buckling* pada *pipeline* milik PT. JOB Pertamina Petrochina East Java. Untuk menanggulangi terjadinya kejadian serupa, pihak PT. JOB PPEJ melakukan mitigasi dengan pemasangan 3 support dan memberikan *downforce* berupa blok tanah pedel seberat 2 ton. Pada tugas akhir ini, akan dilakukan analisa efektivitas pemasangan support dan penambahan *downforce* yang mengacu pada analisa teknis tegangan pemodelan dengan AUTOPIPE dan ANSYS 15.0 (*Static Structural*) untuk mencari nilai stress dan strain pada area buckling. Dari studi kasus di penelitian ini, didapatkan bahwa mitigasi yang dilakukan oleh perusahaan masih mengalami *overstress* di beberapa titik buckling dengan nilai maksimal 277,93 MPa dan regangan 0,0097, serta pada hasil variasi jumlah support dan berat *downforce* didapatkan penambahan fixed support berpengaruh untuk menurunkan tegangan sedangkan beban kebalikannya sehingga 5 *fixed support* dan 1 ton *downforce* lebih efektif berdasarkan hasil analisis tegangan dan regangan.

*Kata kunci : upheaval buckling, mitigasi, tegangan, regangan*

***STRESS ANALYSIS OF UPHEAVAL BUCKLING MITIGATION  
ON PIPELINE 16" BETWEEN BLOCK VALVE 2 TO BLOCK  
VALVE 3***

Student Name : Anadya Restiana  
NRP : 04311440000142  
Departement : Departemen Teknik Kelautan FTK -ITS  
Supervisors : Ir. Imam Rochani, M.Sc.  
Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D.

***ABSTRACT***

Underground pipeline is one of the most commonly used modes of crude oil transportation in the mainland because it is economical and safe from mainland activities. Under the operating conditions, the underground pipeline moves in all directions to be retained by the weight of the pipe, the weight of the contained fluid, and the weight of the soil above it (the friction force of the soil). The effects of temperature rise and soil imperfection height become the main cause of occurrence the overstress on the pipe and the value of the soil friction force will be graded so that it can no longer resist the upward axial force on the pipe. Global deformation of pipes will potentially lead to pipeline failure in the form of upheaval buckling. One case of upheaval buckling that ever happened was upheaval buckling on the pipeline owned by PT. JOB Pertamina Petrochina East Java. To prevent the occurrence of similar incidents, PT. JOB PPEJ mitigates by installed 3 fixed support and added 2 tons downforce of pedel blocks. In this final project will be analyzed the effectivity of installation fixed support and addition of downforce which refer to stress technical analysis, software that will be used are AUTOPIPE and ANSYS 15.0 (Static Structural) to find stress and strain value in buckling area. Based on the computations, it was found that the mitigation done by the company still occurs overstress in some buckling point (node) with a maximum value of 277.93 MPa and strain 0.0097, as well as on the result of variations in the number of fixed support and weight of downforce obtained the addition of fixed support effect to decrease stress meanwhile the addition of downforce is the opposite. it is observed 5 fixed support and 1 ton of downforce is more effective based on the results of stress and strain analysts.

*Keyword : upheaval buckling, mitigation, stress, strain*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Puji syukur kepada Allah SWT karena dengan karunia dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang di kerjakan selama 1 semester dengan baik dan lancar. Laporan penelitian ini berjudul “Analisis Mitigasi dari Upaya Mitigasi *Upheaval Buckling Pipeline 16*” antara Block Valve 2 – *Block Valve 3*”. Tugas Akhir ini disusun guna memenuhi persyaratan dalam menyelesaikan studi Strata 1 (S1) di Departemen Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan (FTK), Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya (ITS). Tugas AKhir ini membahas tentang mitigasi *upheaval buckling* pada *pipeline 16*”.

Dalam pembuatan laporan ini, penulis menyadari bahwa laporan yang telah dibuat belum mencapai kesempurnaan dan masih banyak kekurangan, baik dari bentuk dan materi yang ada. Oleh kare itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat diharapkan untuk penyempurnaan laporan selanjutnya. Dan penulis berharap laporan penilitian ini bermanfaat bagi pembaca dan penulis khususnya.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

Surabaya, Juli 2018

Anadya Restiana

## UCAPAN TERIMA KASIH

Alhamdulillah, segala puji syukur selalu dipanjatkan kehadirat Allah SWT. Shalawat dan Salam semoga selalu tercurah kepada Nabi Muhammad SAW. Berkat ridho dan pertolongan Allah SWT serta bantuan dan dukungan moral maupun material serta doa yang tidak terniali dari berbagai pihak baik secara langsung maupun tidak langsung sehingga penulis bisa menyelesaikan Tugas Akhir ini.. Penulis sangat menghargai dan berterima kasih kepada pihak terkait yang telah membantu, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis terutama kepada Ibunda Almarhuma Asih Mariani dan kepada Ayahanda Muhammad Natsir, serta kakak dan adik tercinta Amriana, Muhammad Udhi Ardiaksa, Ardiansya Sabri, Meivita Tetiyanti dan Ahmad Riziki dan sekaligus Mbah tersayang Mbah Dasinah yang merupakan motivator terbesar dalam keidupan penulis yang selalu memberikan dukungan, doa, kasih sayang, kepercayaan dan kesabaran kepada penulis hingga Tugas Akhir ini selesai.
2. Ir. Imam Rochani, M.Sc dan Ir. Handayanu, M.Sc., Ph.D selaku dosen pembimbing penulis selama pengerjaan Tugas Akhir, yang bersedia meluangkan waktu untuk memberikan saran dan ide serta terima kasih atas bimbingan dan pembelajaran selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
3. Prof. Daniel M. Rosyid PhD, M.RINA selaku dosen wali penulis selama kurang lebih 4 tahun ini.
4. Rudi Walujo Prastianto, ST., MT., Dr.Eng. dan Yoyok Setyo Hadiwidodo, ST., MT., Ph.D selaku Ketua dan Sekertaris Departemen Teknik Kelautan serta keluarga besar dosen dan karyawan Departemen Teknik Kelautan, terima kasih atas bimbingan selama masa perkuliahan.
5. Kepada sahabat dan teman SG Keputih saya, Atikah Maulidya, Niken Setyani, Rima dan Ahmad Andriyanto serta teman teman SG Keputih yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan doa, semangat, motivasi, dukungan, bantuan kondisi *down* ataupun senang dan meluangkan waktunya dalam masa perkuliahan 4 tahun ini.



6. Keluarga Maelstrom (teman-teman angkatan 2014) yang selalu memberikan dorongan, membantu dan memberikan semangat dalam kondisi apapun. Semoga kekeluargaan ini tetap terjalin.
7. Rekan – rekan seperjuangan Tugas Akhir Pipeline yang tidak bisa saya sebutkan ssatu-satu, terima kasih telah membagi ilmunya, informasi dan pengalaman selama pengerjaan Tugas Akhir ini.
8. Senior dan Junior Teknik Kelautan yang telah memberikan dukungan, motivasi dan ilmunya selama perkuliahan penulis, semoga kekeluargaan ini tetap terjalin sampai nanti
9. Semua pihak terkait yang tidak bisa penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas kasih dan pengalamannya sehingga perkuliahan penulis penuh warna.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Dan penulis memohon kepada Allah SWT untuk membalas semua budi baik mereka yang telah membantu selama proses perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2014.

**Anadya Restiana**

6. Keluarga Maelstrom (teman-teman angkatan 2014) yang selalu memberikan dorongan, membantu dan memberikan semangat dalam kondisi apapun. Semoga kekeluargaan ini tetap terjalin.
7. Rekan – rekan seperjuangan Tugas Akhir Pipeline yang tidak bisa saya sebutkan ssatu-satu, terima kasih telah membagi ilmunya, informasi dan pengalaman selama pengerjaan Tugas Akhir ini.

Semoga tulisan ini bermanfaat bagi pembaca dan dapat dikembangkan menjadi lebih baik lagi. Dan penulis memohon kepada Allah SWT untuk membalas semua budi baik mereka yang telah membantu selama proses perkuliahan dan penyelesaian Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juli 2014.

**Anadya Restiana**

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
COVER .....	ii
LEMBAR PENGESAHAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR.....	vi
UCAPAN TERIMA KASIH .....	vii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Batasan Masalah .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	4
1.6 Sistem Penulisan .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI .....</b>	<b>7</b>
2.1 Tinjauan Pustaka .....	7
2.2 Perancangan Pipeline .....	9
2.3 Konsep Umum <i>Upheaval Buckling</i> .....	13
2.4 Mitigasi <i>Upheaval Buckling</i> .....	15
2.4.1 <i>Expansion Loop</i> .....	16
2.5 Analisa Ketebalan Pipa .....	16
2.6 Analisa Tegangan.....	18
2.6.1 Beban Pada Sistem Perpipaan .....	18
2.6.1.1 <i>Sustained Load</i> .....	18
2.6.1.2 <i>Occasional Load</i> .....	18
2.6.1.3 <i>Expansion Load</i> .....	18
2.6.1.4 <i>Operating Load</i> .....	19
2.6.2 Tegangan Hoop .....	19
2.6.3 Tegangan Ekspansi Thermal .....	20
2.6.3.1 Tegangan Ekspansi Thermal pada Pipa Tertahan .....	20

ix

2.6.3.2	Tegangan Ekspansi Thermal pada Pipa Tidak Tertahan.....	20
2.6.4	Tegangan Longitudinal.....	21
2.6.4.1	Tegangan Ekspansi Longitudinal pada Pipa Tertahan.....	21
2.6.4.2	Tegangan Ekspansi Longitudinal pada Pipa Tidak Tertahan .....	22
2.6.5	Tegangan Ekuivalen <i>Von Mises</i> .....	23
2.7	Gaya Aksial.....	24
2.8	Gaya Friksi.....	25
2.9	Regangan.....	28
2.9.1	<i>Strain Criteria for Pipeline</i> .....	29
2.9.2	<i>Strain Criteria for Pipeline</i> (ASME B31.4).....	29
2.10	Software AUTOPIPE .....	30
2.10.1.	Identifikasi Properti Pipa.....	31
2.10.2.	Data Operasi.....	31
2.10.3.	Data Lingkungan .....	32
2.10.4.	Pembuatan Model.....	32
2.10.5.	<i>Run Analysis</i> .....	32
2.11	Pemodelan Software ANSYS 16.0.....	33
2.11.1	Geometry.....	33
2.11.2	Meshing.....	34
2.11.3	Static Structural .....	34
<b>BAB 3</b>	<b>METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>35</b>
3.1	Diagram Alir Penelitian .....	35
3.2	Tahap Identifikasi Masalah.....	37
3.3	Tahap Pengembangan Masalah.....	37
3.4	Tahap Pengumpulan Data .....	38
3.5	Tahap Analisa dan Pengolahan Data.....	38
3.5.1	Perhitungan <i>Stress</i> maksimal pada area monitoring <i>buckling</i> .....	38
3.5.2	Pemodelan AUTOPIPE.....	40
3.5.3	Analisis Strain .....	40
3.5.4	Pemodelan ANSYS 16.0.....	40
3.5.5	Review Hasil Perhitungan dan Pemodelan .....	40
3.5.6	Efektivitas Tegangan Mitigasi <i>Upheaval Buckling</i> .....	41
3.6	Tahap Kesimpulan dan Saran.....	41
<b>BAB 4</b>	<b>ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>42</b>

4.1	Properti <i>Pipeline</i> .....	43
4.2	Data Tanah .....	45
4.3	Tegangan Ijin .....	46
4.4	Analisa Ketebalan Ketebalan <i>Pipeline</i> .....	46
4.5	Analisa Beban Total <i>Pipeline</i> .....	47
4.6	Analisa Tegangan <i>Pipeline</i> .....	48
4.6.1	Tegangan Hoop .....	48
4.6.2	Tegangan Longitudinal Karena Ekspansi Termal .....	49
4.6.3	Tegangan Longitudinal Karena <i>Poisson Ratio</i> .....	49
4.6.4	Tegangan Longitudinal Karena Gaya Aksial .....	50
4.6.5	Tegangan Longitudinal Karena Momen Bending .....	50
4.6.6	Tegangan Longitudinal Total .....	50
4.7	Tegangan <i>Combinated Stress</i> .....	51
4.8	Analisa Perhitungan Tegangan .....	51
4.9	Gaya Friksi Tanah .....	52
4.10	Permodelan Software Autopipe .....	53
4.10.1	Input Data Properti Pipa .....	53
4.10.2	Input Data Beban Operasi .....	53
4.10.3	Input Data Lingkungan .....	54
4.10.4	Permodelan Pipa .....	54
4.10.5	Sebelum Buckling .....	55
4.10.6	Setelah Buckling .....	57
4.10.7	Saat Mitigasi Buckling .....	58
4.10.7.1	Mitigasi Buckling 3 <i>Support</i> dan 2 Ton .....	58
4.10.7.2	Mitigasi Buckling 3 <i>Support</i> dan Variasi Beban .....	60
4.10.7.3	Mitigasi Buckling 1 <i>Support</i> .....	61
4.10.7.4	Mitigasi Buckling 5 <i>Support</i> .....	63
4.11	Permodelan Software ANSYS .....	65
4.11.1	Pembuatan Geometri .....	65
4.11.2	Meshing .....	66
4.11.3	<i>Insert Boundary Condition</i> .....	66
4.11.4	<i>Insert Solution</i> .....	67
4.11.5	Permodelan Saat Buckling .....	67
4.11.6	Permodelan Setelah Mitigasi Buckling .....	69

4.12	<i>Mesh Sensitivity</i> .....	71
4.13	Analisa Efektifitas Mitigasi.....	73
4.13.1	Analisa Teknis Efektifitas Mitigasi Tegangan .....	73
4.13.1.1	Variasi Pemasangan 1, 3, dan 5 dengan Beban 2 Ton.....	74
4.13.1.2	Variasi Pembebanan 1T dan 3T pada Variasi Pemasangan variasi .....	75
4.13.2	Analisa Teknis Efektifitas Mitigasi Regangan .....	76
4.13.2.1	Keadaan Regangan Saat <i>Buckling</i> .....	77
4.13.2.2	Variasi Penambahan Jumlah <i>Fixed Support</i> dan Beban <i>Downforce</i> ...	77
<b>BAB 5</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN.....</b>	<b>801</b>
5.1	Kesimpulan .....	81
5.2	Saran.....	82
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>83</b>

## DAFTAR GAMBAR

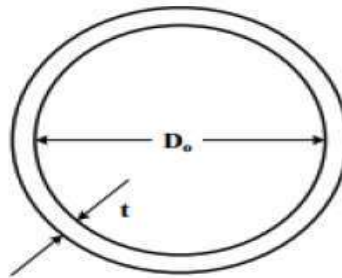
Gambar 1.1 Fenomena <i>Upheaval Buckling</i> 16" BV 2 - BV 3 .....	2
Gambar 1.2 Mitigasi <i>Upheaval Buckling Line</i> 16" BV 2 - BV 3 .....	3
Gambar 2.1 (a) Local Buckling (b) Buckle Arrestor .....	11
Gambar 2.2 <i>Upheaval Buckling</i> .....	15
Gambar 2.3 <i>Expansion Loop</i> .....	16
Gambar 2.4 Penampang pipa .....	17
Gambar 2.5 <i>Uplift Resistance</i> .....	26
Gambar 2.6 Instalasi <i>Trench</i> .....	27
Gambar 2.7 Sistem Kordinat AUTOPIPE .....	30
Gambar 2.8 Properti Pipa .....	31
Gambar 2.9 <i>Operating Pressure dan Temperature</i> .....	31
Gambar 2.10 <i>Soil Properties</i> .....	32
Gambar 2.11 Model Pipa.....	32
Gambar 2.12 <i>Interface Autopipe</i> .....	33
Gambar 2.13 Permodelan Geometri Pipa ANSYS 16.0 .....	33
Gambar 2.14 Meshing Modeler .....	34
Gambar 2.15 <i>Equivalent Strain Von Mises</i> .....	34
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	35
Gambar 4.1 Lokasi Pipa .....	43
Gambar 4.2 Berat vs Segmen .....	48
Gambar 4.3 Tegangan <i>Pipeline</i> 16" .....	52
Gambar 4.4 Properti Pipa di AUTOPIPE .....	53
Gambar 4.5 Input Temperature dan Tekanan .....	54
Gambar 4.6 Input Properti Tanah .....	54
Gambar 4.7 Kordinat Pipa .....	55
Gambar 4.8 Hasil Input Kordinat Pipa .....	55
Gambar 4.9 Permodelan Pipa sebelum <i>Buckling</i> .....	56
Gambar 4.10 Input Permodelan Sesudah Buckling .....	57
Gambar 4.11 Permodelan 3 <i>Support</i> 2 Ton .....	59
Gambar 4.12 Permodelan 1 <i>Support</i> .....	61
Gambar 4.13 Permodelan 5 <i>Support</i> .....	63

Gambar 4.14 Geometri Pipa .....	65
Gambar 4.15 Meshing .....	66
Gambar 4.16 <i>Insert Boundary Condition</i> .....	67
Gambar 4.17 <i>Solution – Strain</i> .....	67
Gambar 4.18 Gambar pada sesudah buckling .....	68
Gambar 4.19 Gambar pada saat setelah mitigasi .....	69
Gambar 4.20 <i>Mesh Sensitivity</i> .....	72
Gambar 4.21 Hasil <i>mesh sensitivity</i> pada saat <i>buckling</i> .....	72
Gambar 4.22 Hasil <i>mesh sensitivity</i> pada saat mitigasi <i>buckling</i> .....	73
Gambar 4.23 Grafik permodelan sebelum dan sesudah <i>buckling</i> .....	74
Gambar 4.24 Hubungan <i>Stress</i> dan <i>Support</i> .....	75
Gambar 4.25 Hubungan <i>Stress</i> dan Beban .....	76
Gambar 4.26 Hasil permodelan <i>buckling</i> ANSYS .....	77
Gambar 4.27 Hasil permodelan strain dengan variasi jumlah .....	78
Gambar 4.28 Hasil permodelan strain dengan variasi jumlah beban .....	79



## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 <i>Design Factor for Pipeline</i> .....	17
Tabel 2.2 <i>Tabulation of Example of Allowable Stresses for Reference Use in Piping Systems</i> .....	17
Tabel 2.3 <i>Approximate Safe Working Values of <math>C_D</math> for Use in Modified Marston Formula</i> .....	28
Tabel 2.4 <i>Stress-Strain Ramberg-Osgood</i> .....	29
Tabel 4.1 Data Material <i>Pipeline 16"-HL-4064-3B</i> .....	44
Tabel 4.2 <i>Perhitungan Properties Pipeline</i> .....	45
Tabel 4.3 <i>Properti Tanah</i> .....	45
Tabel 4.4 <i>Tegangan Ijin</i> .....	46
Tabel 4.5 <i>Perhitungan beban total pipa tiap segmen</i> .....	47
Tabel 4.6 <i>Perhitungan Tegangan</i> .....	51
Tabel 4.7 <i>Hasil Permodelan Stress Sebelum Buckling</i> .....	56
Tabel 4.8 <i>Hasil Permodelan Sesudah Buckling</i> .....	58
Tabel 4.9 <i>Hasil Permodelan 3 Support 2 Ton</i> .....	59
Tabel 4.10 <i>Hasil Permodelan 3 Support dengan variasi beban</i> .....	60
Tabel 4.11 <i>Hasil Permodelan 1 Support</i> .....	61
Tabel 4.12 <i>Hasil Permodelan 5 Support</i> .....	63
Tabel 4.13 <i>Hasil Permodelan Strain Buckling</i> .....	68
Tabel 4.14 <i>Hasil Permodelan Mitigasi Buckling</i> .....	70



**Gambar 2.4 Penampang pipa**

Sumber: B31.4, 2012

$$t = \frac{P_i D}{2S(FE)} \quad (2.1)$$

Dimana:

$t$  = Ketebalan minimum pipa (in)

$P$  = Tekanan Desain (psi)

$D$  = Diameter eksternal pipa (in)

$S$  = *Specified Minimum Yield Stress* (psi)

$F$  = Faktor desain (untuk *pipeline* gunakan  $F = 0.72$ )

$E$  = Faktor *joint* longitudinal ( $E=1$ )

Berikut ini adalah Tabel 2.1 yang menunjukkan *design factor for pipeline*

**Tabel 2.1 Design Factor for Pipeline**

**Table 403.3.1-1 Allowable Values for Pipeline System Stresses**

Location	Internal and External Pressure Stress, $S_H$	Allowable Expansion Stress, $S_E$	Additive Longitudinal Stress, $S_L$	Sum of Longitudinal Stresses from Sustained and Occasional Loads	Equivalent Combined Stress, $S_{eq}$	Effective Stress for Casing or Uncased Pipe at Road or Railroad Crossings
Restrained pipeline	$0.72(E)S_Y$	$0.90S_Y$	$0.90S_Y$ [Note (1)]	$0.90S_Y$	$0.90S_Y$	$0.90S_Y$ [Note (2)]
Unrestrained pipeline	$0.72(E)S_Y$	$S_A$ [Note (3)]	$0.75S_Y$ [Note (1)]	$0.80S_Y$	n/a	$0.90S_Y$ [Note (2)]
Riser and platform piping on inland navigable waters	$0.60(E)S_Y$	$0.80S_Y$	$0.80S_Y$	$0.90S_Y$	n/a	n/a
Slurry pipelines	$0.80(E)S_Y$	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a

Sumber : ASME B31.4 2012

Berikut adalah Tabel 2.2 menunjukkan faktor *joint* pada material API 5L GradeB.

**Tabel 2.2 Tabulation of Example of Allowable Stresses for Reference Use in Piping Systems**

Specification	Grade	Specified Min. Yield Strength, psi (MPa)	Weld Joint Factor, $E$	Allowable Stress Value, $S$ , -20°F to 250°F (-30°C to 120°C), psi (MPa)
<b>Seamless</b>				
API 5L	A25	25,000 (172)	1.00	18,000 (124)
API 5L, ASTM A53, ASTM A106	A	30,000 (207)	1.00	21,600 (149)
API 5L, ASTM A53, ASTM A106	B	35,000 (241)	1.00	25,200 (174)
API 5L	X42	42,000 (289)	1.00	30,250 (208)
API 5L	X46	46,000 (317)	1.00	33,100 (228)

Sumber : ASME B31.4 2012

## 2.6 Analisa Tegangan

Faktor lain yang tak kalah penting dalam mengurangi potensi kegagalan *buckling* adalah analisa tegangan pipa. Dalam proses mitigasi kegagalan pipa, perlu dilakukan analisa tegangan pipa agar nantinya proses mitigasi yang dilakukan dapat berjalan dengan efektif. Pada saat pipa sedang beroperasi, analisa tegangan pipa perlu dilakukan untuk mengetahui kelayakan suatu sistem perpipaan, dimana hasil dari koreksi ini kemudian akan dikomparasikan berdasarkan aturan-aturan yang berlaku di dalam *code* desain pipa yang pada penelitian kali ini, *code* yang digunakan adalah B31.4 2012 sebagai acuan. Berikut ini beberapa komponen penting dalam analisa tegangan.

### 2.6.1 Beban Pada Sistem Perpipaan

Salah satu aspek yang berpengaruh terhadap terjadinya kegagalan *buckling* adalah beban pada sistem perpipaan. Beban yang dialami pipa akan berpengaruh terhadap *life time* pipa tersebut. Sehingga, beban-beban ini perlu diperhatikan agar sifat ekonomis pipa tetap terjaga. Dalam kondisi instalasi dan operasi, pipa mengalami beban yang berbeda. Ketika operasi, pipa akan mengalami beban yang lebih banyak dan kompleks. Beban-beban tersebut kemudian di klasifikasikan agar memudahkan dalam perhitungan dan penggolongan. Adapun klasifikasi beban pipa pada operasi sebagai berikut.

#### 2.6.1.1 Sustained Load

Pada saat pipa sedang beroperasi, pipa akan mendapatkan beban yang secara terus menerus yang disebut beban *sustain*. Beban *sustain* merupakan campuran beban dari tekanan internal fluida yang mengalir dan beban berat pipa. Untuk beban berat ini antara lain:

- *Live load*, yaitu berat fluida yang mengalir pada sistem perpipaan
- *Dead load*, yaitu beban yang meliputi berat pipa secara keseluruhan termasuk komponen-komponen pada sistem perpipaan.

#### 2.6.1.2 Occasional Load

Beban *occasional* merupakan beban dinamis yang diterima sistem perpipaan seperti beban angin dan beban gempa disekitar lingkungan pipa

#### 2.6.1.3 Expansion Load

Beban *expansion* termal merupakan beban yang disebabkan oleh

perbedaan temperatur temperatur fluida yang mengalir dengan temperatur dinding pipa.

#### 2.6.1.4 Operating Load

*Operating Load* terjadi akibat beban operasi seperti pressure, dan temperature serta beban yang disebabkan saat pipa beroperasi.

### 2.6.2 Tegangan Hoop

Aliran fluida di dalam pipa menyebabkan tekanan internal. Tegangan hoop merupakan reaksi dari material pipa, akibat dari tekanan internal, yang secara statis dapat ditentukan besarnya (Antaki, 2003). Sehingga tegangan yang terjadi tidak akan melampaui tegangan plastik pipa yang dapat menyebabkan kegagalan pipa. Penurunan persamaan tegangan internal untuk menghitung tegangan tangensial yang diakibatkan oleh tekanan internal, diperoleh dari analisis gaya pada silinder bebas. Besarnya tegangan ini tergantung pada besar tekanan internal dimana besarnya bervariasi terhadap tebal dinding pipa. Perhitungan tegangan *hoop* atau tegangan gelung akan mengikuti *code and standard* ASME B31.4 2012.

$$SH = \frac{P_i D}{2t} \quad (2.2)$$

Dimana:

$SH = \text{Hoop Stress (psi)}$

$P_i = \text{Internal design gage pressure (psi)}$

$D = \text{Outside diameter of Pipe (in)}$

$t = \text{Wall thickness of pipe (in)}$

Tegangan *hoop* pada saat pipa beroperasi haruslah memenuhi kriteria tegangan *hoop*:

$$SH = \frac{P_i D}{2t} \leq 0.72SMYS \quad (2.3)$$

Dimana:

$SH = \text{Hoop Stress (psi)}$

$P_i = \text{Internal design gage pressure (psi)}$

$D = \text{Outside diameter of Pipe (in)}$

$t = \text{Wall thickness of pipe (in)}$

Pada *offshore pipeline*, besar pembebanan eksternal yang terjadi cukup signifikan untuk diperhitungkan pengaruhnya terhadap tegangan *hoop*. Namun pada *onshore pipeline*, tekanan eksternal sering diabaikan dalam pengaruhnya pada

tegangan *hoop*. Berikut persamaan tegangan eksternal pada *onshore pipeline* (ASME B31.4 2012).

$$SH = \frac{Pe.D}{2t} \quad (2.4)$$

Dimana:

$SH = \text{Hoop Stress (psi)}$

$P e = \text{Eksternal pressure design gage pressure (psi)}$

$D = \text{Outside diameter of Pipe (in)}$

$t = \text{Wall thickness of pipe (in)}$

### 2.6.3 Tegangan Ekspansi Thermal

Ketika pipa beroperasi, pipa mengalami kenaikan suhu akibat adanya fluida yang mengalir di dalamnya. Kenaikan suhu ini, tentu saja berbeda dengan suhu pada saat instalasi. Perbedaan suhu saat instalasi dan operasi pipa menyebabkan terjadinya ekspansi termal pada arah longitudinal pipa. Dikarenakan pipa dalam kondisi tertahan di dalam tanah, maka ekspansi termal tersebut berubah menjadi tegangan tekan termal.

#### 2.6.3.1 Tegangan Ekspansi Thermal pada Pipa Tertahan

$$Se = E. a (T1 - T2) \quad (2.5)$$

Dimana:

$E = \text{Modulus of Elasticity}$

$A = \text{Coeffisien of Thermal Expansion (in/in/F)}$

$T2 = \text{Operating Temperature (F)}$

$T1 = \text{Installation Temperature (F)}$

Catatan:

- Modulus of elasticity carbon >0,3 % is  $28,8 \times 10^6$  psi
- Coeficient of thermal expansion for carbon and low alloy high tensile steel may taken as  $6,5 \times 10^{-6}$  in/in/F (paragrah 402.2.1 B31.4 2012)

#### 2.6.3.2 Tegangan Ekspansi Thermal pada Pipa Tidak Tertahan

Pada pipa yang tidak tertahan, tegangan ekspansi termal tergantung nilai *flexibility* dan *stress intensification factors* pada komponen pipa. Tegangan pada *thermal expansion pipe, fitting*, dan komponen lainnya pada *unrestrained pipeline* menggunakan *modulus of elasticity* temperatur yang

terinstal. Berikut adalah persamaan untuk mendapatkan hasil dari *thermal expansion stress in unrestrained pipe* (ASME B31.4 2012):

$$S_e = \sqrt{S_b^2 - 4S_t^2} \quad (2.6)$$

Dimana:

$S_b$  = Resultant Bending Stress (psi)

$S_t$  = Torsional Stress (psi)

The resultant bending stress dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut:

$$S_b = \sqrt{(I_i M_i)^2 + (I_o M_o)^2} / Z \quad (2.7)$$

Dimana:

$I_i$  = In plane SIF

$I_o$  = Out plane SIF

$M_i$  = In plane bending moment (in-lb)

$M_o$  = Out plane bending moment (in-lb)

$Z$  = Section modulus of pipe (in<sup>3</sup>)

Catatan: nilai faktor  $I_i$  dan  $I_o$  dapat dilihat pada tabel 402.1-1 ASME B31.4

Untuk mencari nilai *torsional stress*, dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$S_t = \frac{M_t}{2Z} \quad (2.8)$$

Dimana:

$M_t$  = Torsional moment (in-lb)

#### 2.6.4 Tegangan Longitudinal

Dalam melakukan analisa tegangan longitudinal, kita perlu meninjau kondisi *pipeline*, apakah dia berada dalam kondisi tertahan (*restraint*) atau tidak tertahan (*unrestraint*). Pada kondisi kegagalan *upheaval buckling*, dewasanya, pipa berada dalam kondisi tertahan. Pada kondisi ini, pipa tidak dapat berekspansi karena tertahan gaya friksi tanah di sekeliling pipa tersebut. Pada saat pipa beroperasi atau bertekanan, maka tekanan internal di dalam pipa akan menimbulkan tegangan *hoop* dan tegangan longitudinal akibat tekanan internal pipa. Hal ini tergantung pada kondisi pipa tertahan atau tidak.

##### 2.6.4.1 Tegangan Ekspansi Longitudinal pada Pipa Tertahan

Pada pipa yang berada pada kondisi tertahan, akan timbul reaksi tegangan tarik akibat pengaruh Poisson dari tegangan *hoop*. Sebagaimana diketahui bahwa pengaruh Poisson menggambarkan rasio regangan yang terjadi pada arah melintang terhadap regangan pada arah longitudinal. Dengan kata lain, tegangan *hoop* akan menimbulkan pengaruh tegangan tarik Poisson pada arah longitudinal. Tegangan tarik longitudinal akibat pengaruh Poisson pada pipa kondisi tertahan dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (ASME B31.4, 2012):

$$S_{\text{Poisson}} = \nu \cdot SH \quad (2.9)$$

Dimana:

$\nu$  = Poisson's Ratio = 0,3 *for steel pipe*

SH = Tegangan *hoop* (psi)

Sedangkan untuk mendapatkan nilai tegangan longitudinal pada pipa *restraint* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut (ASME B31.4, 2012):

$$SL = SE + \nu SH + \frac{M}{Z} + Fa \quad (2.10)$$

Dimana:

$A$  = Metal area of nominal pipe cross section (in<sup>2</sup>)

$Fa$  = Gaya aksial (lb)

$M$  = Moment bending (in-lb)

$SE$  = Thermal expansion stress (psi)

$SH$  = Hoop stress (psi)

$Z$  = Modulus section of the pipe (in<sup>3</sup>)

$\nu$  = Poisson's Ratio (0,3 *for steel pipe*)

#### 2.6.4.2 Tegangan Ekspansi Longitudinal pada Pipa Tidak Tertahan

Pada kondisi pipa *unrestraint*, maka akan terbentuk tegangan longitudinal sebagai pengaruh langsung dari tekanan internal di dalam pipa. Teori tegangan ini bersesuaian dengan tegangan longitudinal yang terjadi pada bejana tipis seperti yang telah diuraikan sebelumnya. Persamaan untuk menghitung tegangan longitudinal pada pipa kondisi tidak tertahan (ASME B31.4, 2012):

$$S_L = \frac{P_i D}{4t} + \frac{i M}{Z} + Fa \quad (2.11)$$

Dimana:

$A$  = Metal area of nominal pipe cross section ( $\text{in}^3$ )

$D$  = Outside diameter (in)

$F_a$  = Axial force (lb)

$i$  = In plane SIF (tabel 402.1-1), limited by  $0.75i \geq 1$ , for straight pipe,  $i=1$

$M$  = Moment bending (in-lb)

$P_i$  = Internal design gage pressure (psi)

$t$  = wall thickness of pipe (in)

$Z$  = Section modulus of pipe ( $\text{in}^3$ )

### 2.6.5 Tegangan Ekuivalen *Von Mises*

Tegangan ekuivalen merupakan resultan dari seluruh komponen *tegangan* yang terjadi pada pipa. Persamaan *tegangan ekuivalen* dirumuskan sebagai *tegangan von mises*. Berikut ini merupakan persamaan *tegangan von mises*.

$$Seq = 2 \sqrt{\left[\frac{S_L - S_H}{2}\right]^2 + S_t^2} \quad (2.12)$$

Dimana:

$Seq$  = *Equivalent combined stress* (psi)

$SH$  = Tegangan *hoop* (psi)

$SL$  = Tegangan longitudinal (psi)

$St$  = Tegangan torsional (psi)

Tegangan *torsional* biasanya relatif kecil dibandingkan dengan tegangan – tegangan lain yang bekerja sehingga dapat diabaikan dalam analisis selanjutnya, sehingga dapat direduksi menjadi persamaan sebagai berikut (ASME B31.4 2012):

$$Seq = 2 \sqrt{\left[\frac{S_L - S_H}{2}\right]^2} \quad (2.13)$$

Dimana:

$Seq$  = *Equivalent combined stress* (psi)

$SH$  = Tegangan *hoop* (psi)

$SL$  = Tegangan longitudinal (psi)

Tegangan ekuivalen pada saat pipa beroperasi haruslah memenuhi kriteria tegangan ekuivalen yang diijinkan. Tegangan ekuivalen yang diijinkan didasarkan



pada kriteria *code and standart* (ASME B31.4 2012) yang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

$$Seq = \sqrt{S_H^2 - S_H \cdot S_L + S_L^2 + 3S_t^2} \leq 0,9SMYS \quad (2.14)$$

Dimana:

$Seq$  = *Equivalent combined stress* (psi)

$S_H$  = Tegangan *hoop* (psi)

$S_L$  = Tegangan longitudinal (psi)

$S_t$  = Tegangan torsional (psi)

Note: tegangan torsional diabaikan

## 2.7 Gaya Aksial

Gaya aksial efektif yang bekerja pada sistem perpipaan menyebabkan terjadinya *upheaval buckling* karena gaya aksial efektif ini bekerja pada sumbu pipa yang mendorong terjadinya defleksi secara global ke arah vertikal. Pada pipa yang diletakan secara horizontal seperti kasus ini, maka gaya aksial yang terjadi pada pipa adalah gaya yang terbentuk oleh tegangan longitudinal. Secara umum gaya aksial sangat dipengaruhi oleh ekspansi termal.

Selain dipengaruhi oleh tegangan longitudinal kompresif akibat pengaruh ekspansi termal, gaya aksial efektif pada pipa yang berada pada kondisi *restraint* juga dipengaruhi oleh tekanan internal di dalam pipa. Pada kasus pipa dengan kondisi tertahan atau *restraint*, maka dinding pipa akan membentuk tegangan kompresif ke arah longitudinal. Tegangan longitudinal kompresif akibat tekanan internal ini dinyatakan sebagai perbandingan luas penampang internal pipa dengan luas penampang baja dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Sax = \frac{P \cdot Ai}{As} \quad (2.15)$$

Dimana:

$Sax$  = Tegangan longitudinal akibat tekanan internal (psi)

$P$  = Tekanan internal pipa (psi)

$Ai$  = Luas penampang internal pipa (in<sup>2</sup>)

$As$  = Luas potongan melintang pipa (in<sup>2</sup>)

Pada kondisi pipa yang tertahan, tegangan – tegangan yang bekerja pada arah longitudinal, yaitu tegangan termal, tegangan Poisson, dan tegangan akibat tekanan

internal akan menyebabkan gaya aksial pada pipa. Resultan gaya aksial efektif inilah yang menyebabkan pipa mengalami tekukan ke arah vertikal pipa. Resultan gaya aksial efektif pada pipa *restraint* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$F = -PA_i + v \cdot S \cdot A_s - E \alpha (T_2 - T_1) \cdot A_s \quad (2.16)$$

Dimana :

$F$  = Gaya aksial efektif (lb)

$P$  = Tekanan internal (psi)

$S_h$  = Tegangan *hoop* (psi)

$E$  = *Modulus of elasticity*

$\alpha$  = Koefisien ekspansi termal

$T_2$  = Temperatur operasi maksimum (F)

$T_1$  = Temperatur instalasi (F)

$A_i$  = Luas penampang internal =  $\pi \cdot (D_o - 2t)^2$  (in)<sup>2</sup>

$A_s$  = Luas potongan melintang pipa =  $\pi \cdot (D_o - t)t$  (in)<sup>2</sup>

Catatan : - *Modulus of elasticity carbon > 0,3 % is 28,8 x 10<sup>6</sup> psi*

-*Coefficient of thermal expansion for carbon and low alloy high tensile steel may taken as 6,5 x 10<sup>-6</sup> in/in/F (paragraf 402.2.1 B31.4 2012)*

Gaya aksial efektif ini merupakan *driving force* terjadinya *upheaval buckling*. Gaya aksial ini ditahan atau dilawan oleh gaya yang berlawanan arah. Gaya lawan ini berasal dari gaya friksi tanah serta berat pipa itu sendiri. Gaya friksi tanah merupakan gaya yang berasal dari hasil injeksi permukaan tanah dan permukaan pipa yang saling bersentuhan. Gaya friksi tanah berasal dari tanah yang menahan di sekeliling pipa dan tanah timbunan yang berada di atas pipa.

## 2.8 Gaya Friksi

Pada kasus terjadinya kegagalan *upheaval buckling*, gaya longitudinal yang menciptakan gaya aksial efektif menjadi penyebab utamanya. Gaya aksial efektif akan menyebabkan penekukan pada pipa. Akan tetapi, penekukan tidak akan terjadi jika gaya friksi yang bekerja pada pipa lebih besar daripada gaya aksial efektif yang berlaku. Gaya friksi pada pipa merupakan kombinasi gaya friksi tanah di sekitar pipa dan berat pipa itu sendiri. Gaya friksi tanah merupakan gaya yang berasal dari

hasil interaksi permukaan tanah dengan permukaan pipa yang saling bersentuhan. Gaya friksi tanah berasal dari tanah yang menahan di sekeliling pipa dan tanah timbunan diatas pipa.

Analisa dan perhitungan gaya friksi ini akan mengikuti *code* standar ASME B31.1 *Power Piping Non-mandatory Appendix VII*. Pada standar ini di sediakan perhitungan gaya friksi yang bekerja pada sistem pipa penyalur yang berada dalam kondisi *restraint* atau tertahan. Besarnya gaya friksi tanah tergantung pada jenis tanah *backfill* yang digunakan serta ketinggian timbunan tanah diatas pipa. Selain itu juga terdapat pengaruh lebar *trench* pipa yang akan dibahas lebih lanjut. Besar gaya friksi tanah dan berat pipa dinyatakan dengan persamaan berikut ini.

$$f = \mu ((P_c \cdot A_c) + W_p) \quad (2.17)$$

Dimana:

$f$  = Gaya friksi total per satuan panjang pipa (lb/in)

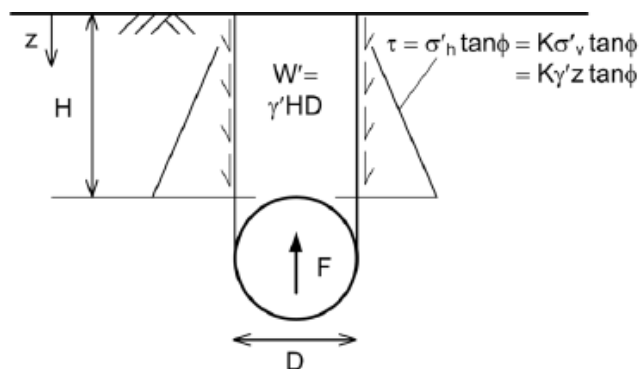
$\mu$  = Koefisien friksi (min 0,3 – 0.5 max, *paragraph VII-6.1.2 B31.1 nonmandatory VII*)

$P_c$  = Tekanan tanah yang bekerja pada pipa (psi)

$A_c$  = Luas penampang segmen pipa per satuan panjang (in<sup>2</sup>)

$W_p$  = Berat pipa dan isinya persatuan panjang (lb/in)

Pada pipa dikubur, pipa akan mengalami pembebanan tanah seiring dengan kedalaman pipa yang dikubur. Kondisi ini disebut sebagai *vertical earth load*. Pembebanan pada tanah di atas pipa akan memberikan tekanan vertikal kepada pipa seperti pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5 Uplift Resistance**

Sumber: Thusyanthan, 2008

Tekanan ini akan bekerja sebagai gaya friksi yang akan menahan kegagalan *upheaval buckling* atau dikenal sebagai *uplift resistance*. Secara sederhana, seperti

menurut ASME B31.1, persamaan sebagai berikut

$$P_c = \omega H \quad (2.18)$$

Dimana:

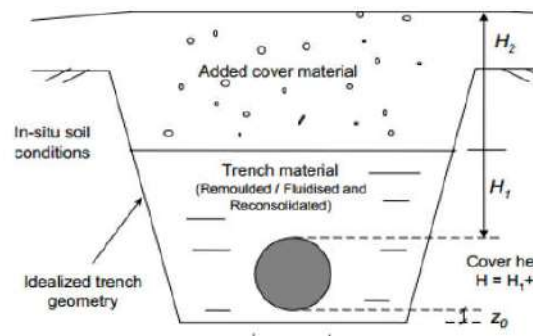
$\omega$  = Berat jenis tanah (lb/in<sup>3</sup>)

$H$  = Kedalaman pipa dibawah tanah (in)

$P_c$  = Tekanan tanah yang bekerja pada pipa (psi)

Pada beberapa tahun terakhir, studi mengenai prediksi terhadap perilaku *uplift resistance*, mulai dari teori *uplift resistance* (Maltby and Calladine, 1995; Martin and White, 2012), uji coba perilaku (Eiksund et al., 2013; Schaminee et al., 1990; Trautmann et al., 1985) dan uji coba geoteknik secara *centrifuge* (Cheuk et al., 2007; Ng and Springman, 1994; Wang et al., 2009). Berdasarkan beberapa literature dan penelitian yang telah dilakukan, persamaan tersebut berlaku pada pipa yang dipendam di bawah tanah pada kedalaman sampai 3 kali diameter pipa. Sedangkan untuk pipa yang terpendam di bawah tanah pada kedalaman lebih dari 3 kali diameter pipa, terdapat pengaruh lebar *trench* pipa. Untuk mengetahui pengaruh lebar *trench* pipa terhadap tekanan tanah yang bekerja di atas pipa, maka digunakan teori Marston yang juga meneliti interaksi tanah dengan pipa yang terpendam (Thusyanthan, 2008).

Pada saat instalasi pipa penyalur yang terpendam di bawah tanah, maka pipa akan ditempatkan di dalam sebuah parit atau *trench*. Biasanya ukuran *trench* dan jenis tanah *backfill* yang digunakan telah di desain agar cukup dapat menahan pipa untuk tidak bergeser pada saat operasinya. Instalasi ini juga bertujuan agar memenuhi kondisi dimana pipa disebut “*fully restrained pipeline*” sehingga pipa tidak mengalami ekspansi akibat operasi termal. Instalasi *trench* pipa yang akan dipendam dibawah tanah dapat dilihat melalui Gambar 2.6 berikut.



**Gambar 2.6 Instalasi Trench**

Sumber: DNV RP F110, 2007

Berdasarkan teori Marston, maka tekanan tanah yang bekerja di atas pipa yang di pendam pada kedalaman lebih dari 3 kali diameter pipa dapat dinyatakan pada persamaan sebagai berikut ASME B31.1 *Power Piping Non – mandatory Appendix VII*):

$$P_c = \omega C_D B_d \quad (2.19)$$

Dimana,

$P_c$  = Tekanan tanah yang bekerja pada pipa (lb/in<sup>2</sup>)

$\omega$  = Berat jenis tanah (lb/in<sup>3</sup>)

$C_D$  = Parameter non – dimensi

$B_D$  = Lebar *trench* pipa (in)

Berdasarkan penelitian dan teori Martson, harga koefisien  $C_D$  diperoleh berdasarkan table 2.3 berikut ini.

**Tabel 2.3 Approximate Safe Working Values of  $C_D$  for Use in Modified Marston Formula**

APPROXIMATE SAFE WORKING VALUES OF $C_D$ FOR USE IN MODIFIED MARSTON FORMULA				
Ratio $H/B_D$	Damp Top Soil and Dry and Wet Sand	Saturated Top Soil	Damp Yellow Clay	Saturated Yellow Clay
0.5	0.46	0.47	0.47	0.48
1.0	0.85	0.86	0.88	0.90
1.5	1.18	1.21	1.25	1.27
2.0	1.47	1.51	1.56	1.62
2.5	1.70	1.77	1.83	1.91
3.0	1.90	1.99	2.08	2.19
3.5	2.08	2.18	2.28	2.43
4.0	2.22	2.35	2.47	2.65
4.5	2.34	2.49	2.53	2.85
5.0	2.45	2.61	2.19	3.02
5.5	2.54	2.72	2.90	3.18
6.0	2.61	2.91	3.01	3.32
6.5	2.68	2.89	3.11	3.44
7.0	2.73	2.95	3.19	3.55
7.5	2.78	3.01	3.27	3.65
8.0	2.82	3.06	3.33	3.74
9.0	2.88	3.14	3.44	3.89
10.0	2.92	3.20	3.52	4.01
11.0	2.95	3.25	3.59	4.11
12.0	2.97	3.28	3.63	4.19
13.0	2.99	3.31	3.67	4.25
14.0	3.00	3.33	3.70	4.30
15.0	3.01	3.34	3.72	4.34
$\infty$	3.03	3.38	3.79	4.50

Sumber: ASME B31.1

## 2.9 Regangan

Pada saat instalasi *pipeline*, ketidaklurusan pipa atau ketidakrataan tanah akan memberikan efek terhadap terjadi *upheaval buckling*. Untuk mengatasi hal tersebut, dewasanya, *pipeline* akan diberi penahan. Akibat dari adanya perpindahan

*noncyclic* seperti penurunan jalur perpipaan atau patahan pada *pipeline* akan memberikan nilai *longitudinal stress* dan kombinasi *stress* yang membatasinya menjadi besar. Untuk itu, *longitudinal stress* dan kombinasi *stress* dapat diganti dengan *allowable strain* yang diijinkan, jadi sebagai konsekuensi *yielding* tidak mengganggu saat kondisi operasi *pipeline* yang terpasang. Maksimum *longitudinal strain* yang diijinkan tergantung dari sifat keuletan dari material, saat sebelumnya sudah mengalami *plastic strain* dan *buckling* pada pipa. Ketika *plastic strain* diantisipasi, *the pipe eccentricity*, *pipe out of roundness*, dan kemampuan las untuk menghadapi *strain* tersebut harus dipertimbangkan tanpa efek yang merugikan.

### 2.9.1 Strain Criteria for Pipeline

Pada keadaan pipa yang mengalami kondisi kegagalan berupa *buckling*, salah satu pendekatan yang dapat digunakan adalah hubungan *stress-strain* Ramberg-Osgood. Berdasarkan hubungan *stress-strain* Ramberg-Osgood menyatakan bahwa batas luluh (*yielding point*) regangan pipa sebesar 0,5%. Nilai ini menjadi acuan pipa telah mengalami kegagalan *buckling*. Bila *strain* pipa melebihi nilai 0,5%, maka pipa tersebut mengalami kondisi *plastic strain* (awal mula terjadinya *buckling*). Berbagai jenis material memiliki nilai yang sama yaitu 0,5% seperti pada Tabel 2.4 dibawah ini.

**Tabel 2.4 Stress-Strain Ramberg-Osgood**

API 5L Grade	$\sigma_0$ Min Yield Stress (MPa)	$\epsilon_0$ Yield Strain (%)
X25	172	0.5%
A	207	0.5%
B	241	0.5%
X42	289	0.5%
X46	317	0.5%
X52	358	0.5%
X56	386	0.5%
X60	413	0.5%
X65	448	0.5%
X70	482	0.5%

### 2.9.2 Strain Criteria for Pipeline (ASME B31.4)

Ketika pipa mengalami kegagalan *buckling*, nilai *strain* yang terjadi diharapkan tidak melebihi batas maksimal nilai *tensile strain* yang ASME B31.4.Paragraf 451.12 tetapkan yaitu sebesar 2%. Jika *strain* yang terjadi melebihi

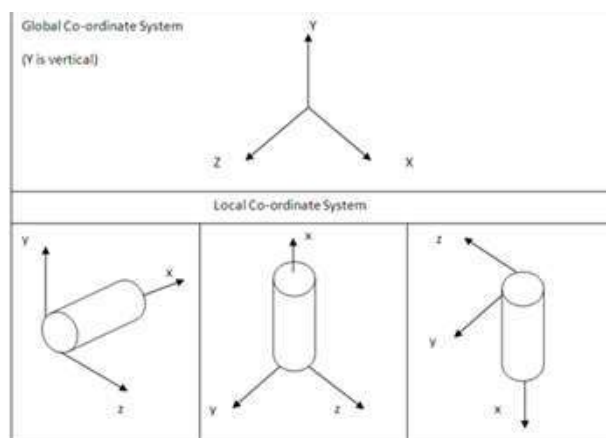
2%, pipa akan mengalami proses lokal *buckling* hingga *rupture* (ASME B31.4, 2012).

## 2.10 Software AUTOPIPE

AutoPIPE adalah program analisis elemen hingga untuk menganalisis sistem perpipaan terhadap pembebanan statik dan dinamik. AutoPIPE digunakan untuk menganalisis tegangan pada pipa, analisis *flange*, desain *pipe*, dan analisis pembebanan pada peralatan-peralatan *nozzle*. Autopipe memiliki peraturan-peraturan teknis untuk desain seperti ASME, European, British Standard, API, NEMA, ANSI, ASCE, AISC, UBC, WRC, dan juga batasan-batasan desain untuk memberikan analisis yang akurat. AutoPIPE juga memiliki perbendaharaan material yang sangat lengkap untuk komponen-komponen pipa dan struktur pipa seperti pipa, *reducer*, *tee*, *valve*, *flange*, *beam*, koneksi-koneksi fleksibel dan lain-lain. AutoPIPE dapat digunakan untuk melakukan analisa jaringan perpipaan di atas tanah, di bawah tanah, dan juga di dalam air laut (Yunita, 2012).

Perangkat lunak AutoPIPE mengijinkan dua sistem koordinat yaitu koordinat global dan lokal. Koordinat global dinyatakan dalam sumbu X-Y-Z, sedangkan koordinat lokal dinyatakan dalam sumbu x-y-z.

Pada dasarnya perangkat lunak AutoPIPE bekerja dalam sistem koordinat global. Nodal terdapat pada lokasi-lokasi penting seperti flange, bend, valve, tumpuan, dan untuk menentukan panjang elemen pipa. Gambar 2.7 dibawah memperlihatkan sistem koordinat yang dapat digunakan dalam AutoPIPE.



**Gambar 2.7 Sistem Kordinat AUTOPIPE**

Sumber: Yunita, 2012

Pada umumnya, tahap – tahap di bawah ini digunakan dalam pemodelan

### 2.10.1. Identifikasi Properti Pipa

Di dalam industri perpipaan, properti pipa seperti ukuran, bentuk dan proses pembuatan bermacam-macam, sehingga setiap pipa penting untuk didefinisikan dengan jelas dalam menginputkan datanya ke dalam permodelan perpipaan. Dalam membuat model sistem perpipaan, program AUTOPIPE akan meminta input identitas tersebut dengan munculnya layar input identitas seperti yang dijelaskan pada Gambar 2.8 dibawah ini.

**Gambar 2.8 Properti Pipa**

### 2.10.2. Data Operasi

Dalam memodelkan pipa pada saat operasi, diperlukan input data operasi berupa suhu dan tekanan. Oleh karena itu, memasukkan data beban operasi dapat dilakukan melalui dialog box seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.9 berikut:

**Gambar 2.9 Operating Pressure dan Temperature**



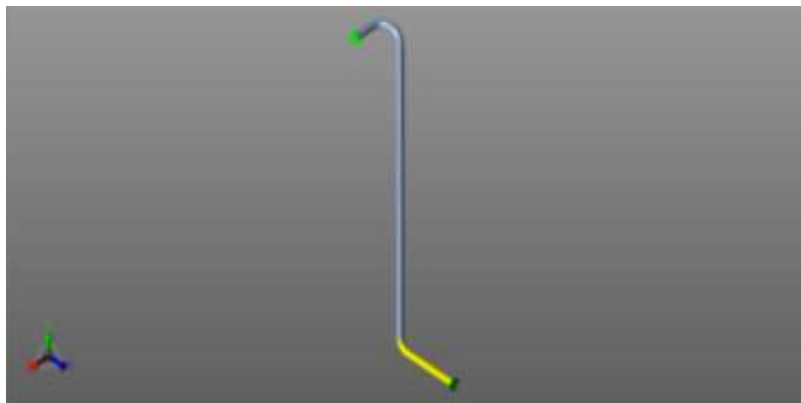
### 2.10.3. Data Lingkungan

Salah satu parameter permodelan sesuai dengan keadaan rill adalah data lingkungan, dimana pipa dalam tugas akhir ini adalah *onshore pipeline* maka data lingkungan berupa data tanah, menginput data tanah sebagai pada Gambar 2.10 berikut:

Gambar 2.10 Soil Properties

### 2.10.4. Pembuatan Model

Setelah data-data diatas dimasukan, kemudian membuat permodelan sesuai data data koordinat atau data *engineering data*. Point acuan pada segmen yang pertama, secara default akan diberi nama poin node 10. Point node dapat dirubah sesuai keinginan user. Gambar 2.11 dibawah menunjukkan layar input pemodelan pipa sebagai berikut:

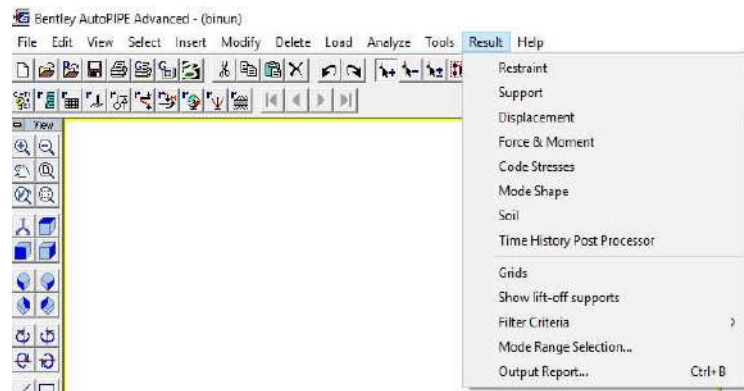


Gambar 2.11 Model Pipa

### 2.10.5. Run Analysis

Sebelum *run analysis* pada permodelan, pengecekan diperlukan untuk memastikan model yang telah di buat tidak memiliki error atau kesalahan dalam permodelan sistem perpipaan. Setelah pada model dipastikan tidak ada *error message*, maka model siap untuk di analisa (*run/analyze all*) kemudian memilih

hasil output yang ingin di analisis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 sebagai berikut.



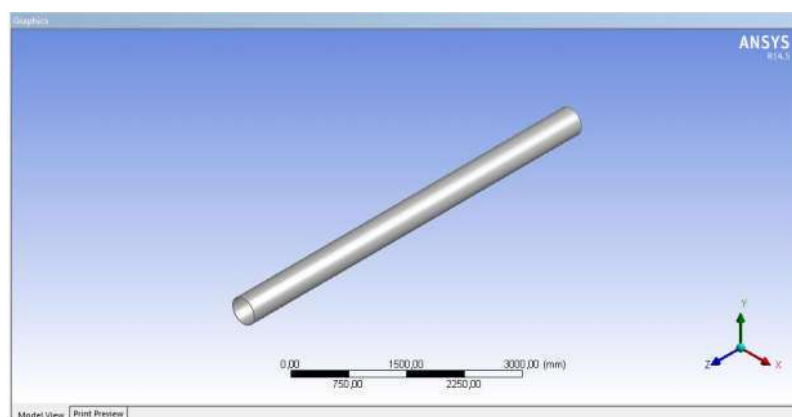
**Gambar 2.12 Interface Autopipe**

## 2.11 Pemodelan Software ANSYS 16.0

ANSYS 16.0 merupakan *software* berbasis *finite element analysis* (FEA). Dalam dunia keteknikan, penggunaan ANSYS dilakukan untuk menganalisis simulasi struktur, panas, dinamika fluida, akustik, dan elektromagnetik. ANSYS merupakan *computer aided engineering* (CAE) yang dikembangkan oleh ANSYS, Inc. Perusahaan tersebut telah mengembangkan banyak produk CAE. Pada penelitian ini, *software* ANSYS 16.0 digunakan untuk menghitung nilai *strain* pada *upheaval buckling* melalui analisis sistem *statik structural*. Adapun beberapa langkah yang perlu dilakukan adalah sebagai berikut

### 2.11.1 Geometry

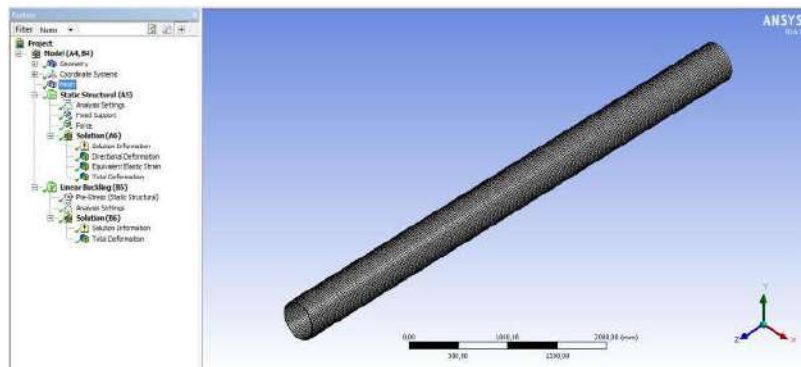
Dalam melakukan analisis menggunakan ANSYS 16.0, langkah awal yang dilakukan adalah membuat geometri model. Pembuatan geometri mencakup bentuk geometri, panjang, dan diameter pipa seperti pada Gambar 2.13 berikut.



**Gambar 2.13 Permodelan Geometri Pipa ANSYS 16.0**

### 2.11.2 Meshing

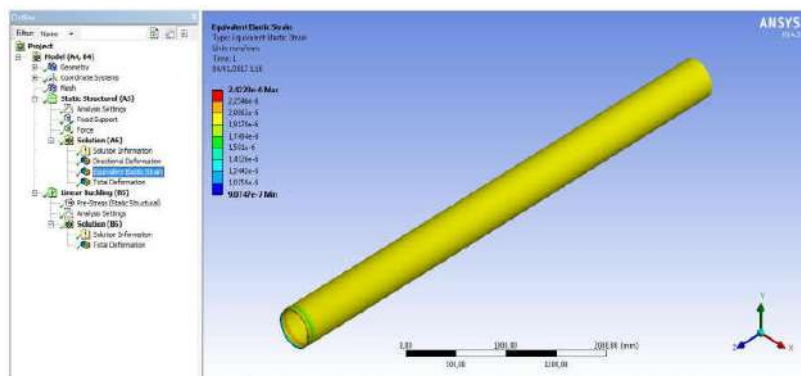
Dalam *Finite Element Methode* (FEM), model yang telah dibuat akan dibagi menjadi beberapa bagian dengan jumlah hingga (finite). Bagian-bagian ini disebut elemen yang tiap elemen satu dengan elemen lainnya dihubungkan dengan nodal (node). Kemudian dibangun persamaan matematika yang menjadi representasi benda tersebut. Proses pembagian benda menjadi beberapa bagian disebut meshing. Semakin banyak pembagian objek yang dibuat maka hasil perhitungan akan semakin teliti namun membutuhkan daya komputasi yang besar. Permodelan meshing ditunjukkan pada Gambar 2.14 berikut.



Gambar 2.14 Meshing Modeler

### 2.11.3 Static Structural

*Static Structural* digunakan untuk menentukan *displacements*, *stresses*, *strains*, dan *forces* pada struktur yang disebabkan oleh beban yang tidak menimbulkan momen inersia yang besar dan *damping effect*. Pada ANSYS 16.0, untuk melakukan analisis *static structural* diperlukan nilai *force* dan yang di input terlebih dahulu pada masing-masing ujung pipa. Langkah selanjutnya adalah memasukkan *input solution* yang nantinya akan menghasilkan nilai *elastic strain*. Gambar 2.15 menunjukkan *Equivalent Strain Von Mises*.



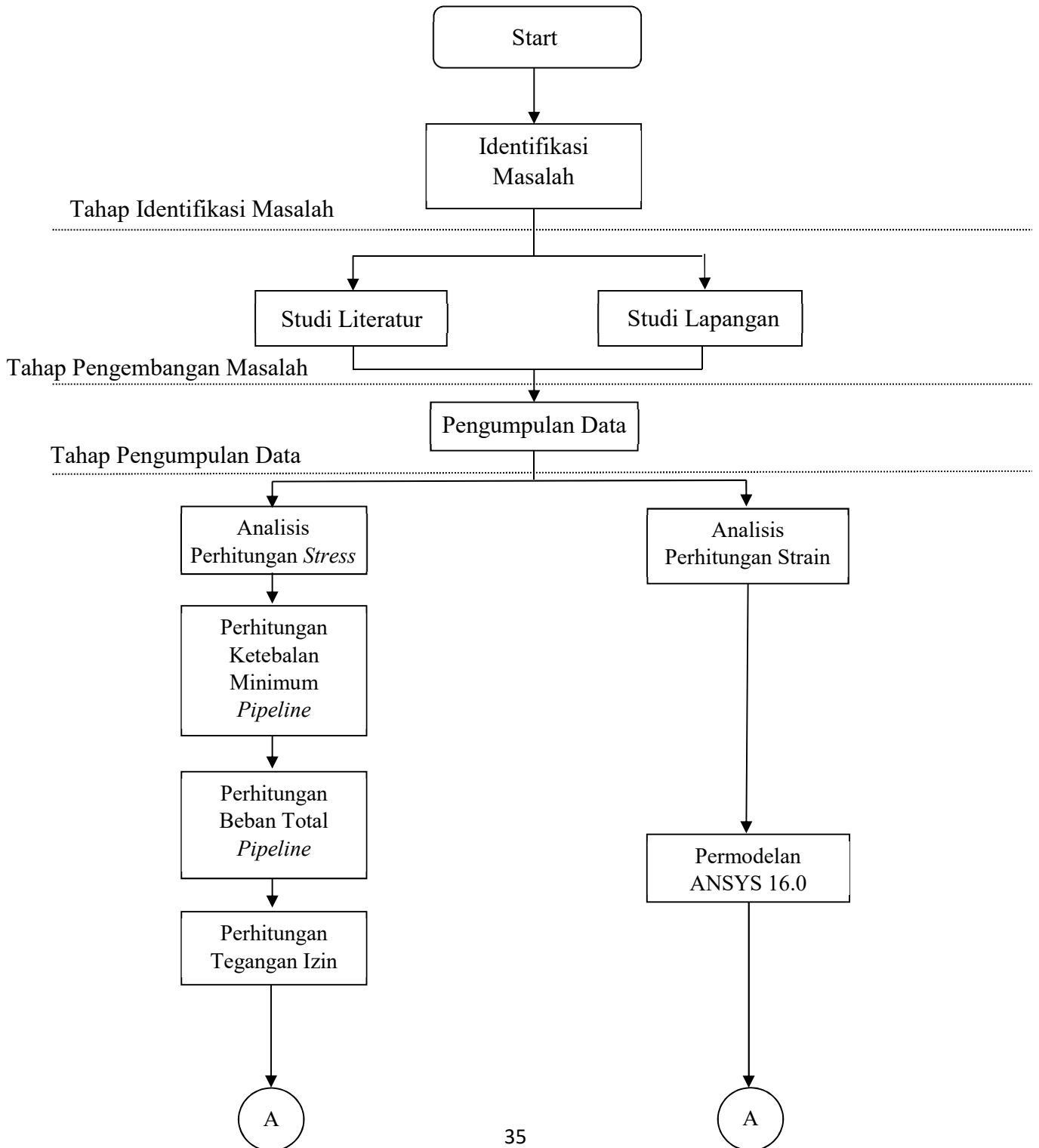
Gambar 2.15. *Equivalent Strain Von Mises*

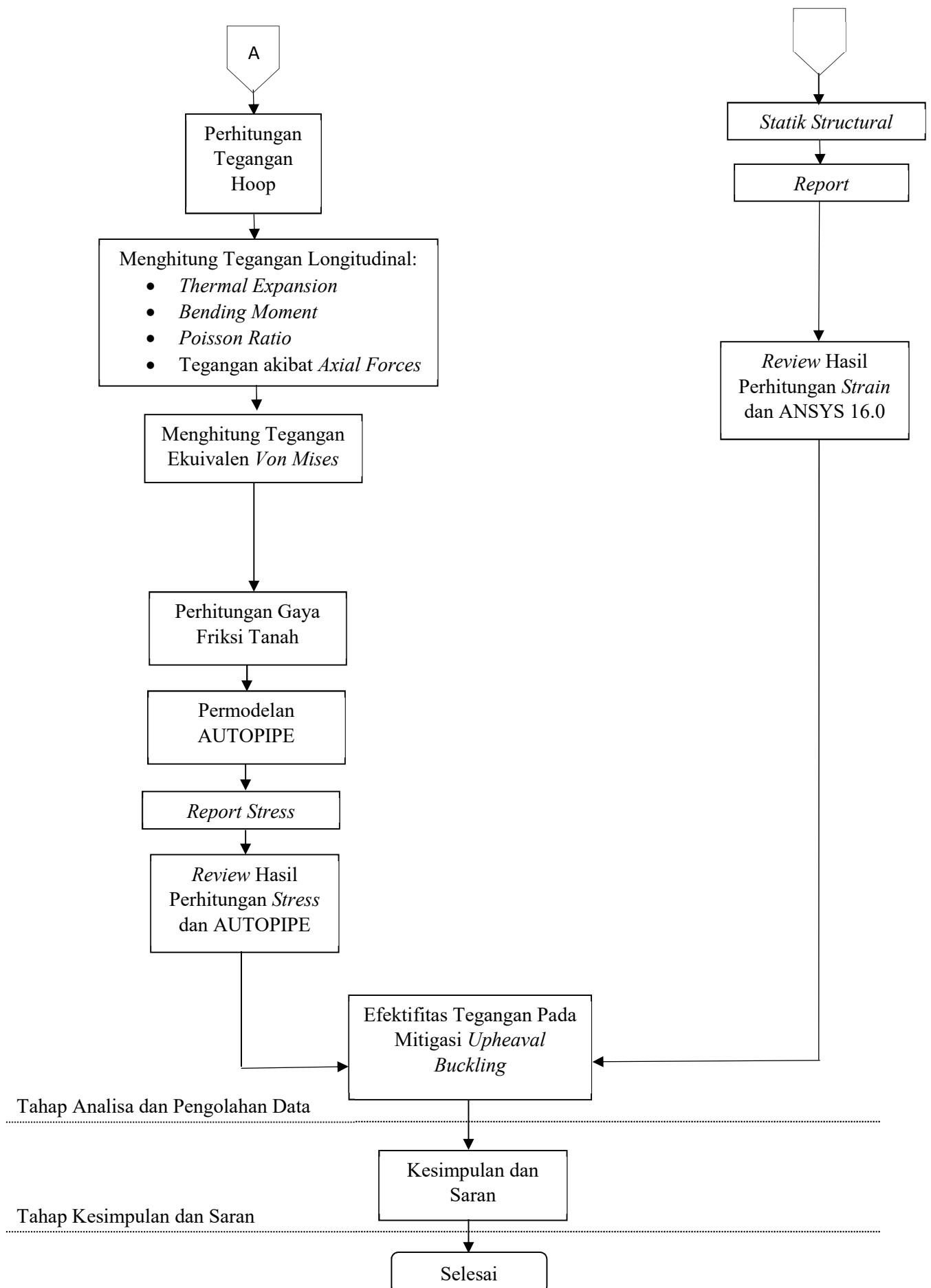
## BAB 3

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

Langkah kerja penelitian melalui proses di dalam diagram alir di tunjukan pada Gambar 3.1 di bawah ini:





### 3.2 Tahap Identifikasi Masalah

Pada penelitian ini, hal yang pertama dilakukan adalah melakukan identifikasi permasalahan melalui pengamatan dan pemikiran tentang masalah yang akan diteliti. Identifikasi masalah merupakan penentuan terhadap masalah yang akan diangkat dalam kepenulisan berlandaskan pemikiran dan teori-teori yang ada. Pada tahap identifikasi masalah membahas mengenai tujuan-tujuan yang ingin dicapai beserta manfaat bagi pihak-pihak terkait serta penelitian selanjutnya. Dasar kegiatan yang dilakukan selama penelitian juga di bahas pada tahap ini.

Penelitian ini mengangkat permasalahan tentang “Analisa Efektivitas Tegangan dari Upaya Mitigasi *Upheaval Buckling Pipeline 16*” Antara *Block Valve 2* sampai *Block Valve 3*”. Jalur tersebut melewati persawahan dan mengalami kegagalan *upheaval buckling*. Proses mitigasi pada jalur tersebut dilakukan dengan cara memberikan beban ke bawah (*downforce*) sebesar 2 ton pada titik-titik yang mengalami kegagalan *upheaval buckling*. Atas dasar hal tersebut, penelitian ini akan menganalisa efektivitas tegangan mitigasi *upheaval buckling* ditinjau dari nilai *stress* dan *strain* pada area *buckling* dilihat dari data monitoring *upheaval buckling* yang telah dilakukan.

### 3.3 Tahap Pengembangan Masalah

Permasalahan yang diangkat kemudian dikembangkan melalui studi literature dan studi lapangan sebagai berikut :

#### a. Studi Literatur

Pada tahap ini, peneliti mengumpulkan sumber-sumber yang mengandung dasar teori yang relevan dengan masalah yang diangkat. Selain itu, peneliti melakukan review terhadap jurnal-jurnal atau penelitian yang telah ada terkait dengan masalah kegagalan *upheaval buckling* guna menjadi acuan dalam melakukan analisis permasalahan yang diangkat penulis. Adapun sumber-sumber yang penulis kumpulkan berasal dari buku, jurnal, *code and standard*, dan dokumen dari perusahaan.

#### b. Studi Lapangan

Pada tahap ini, dilakukan pengamatan langsung pada area yang telah dilakukan mitigasi *upheaval buckling* pada *pipeline* milik Pertamina

Petrochina East Java, sehingga mendapatkan data yang sesuai untuk digunakan dalam menyelesaikan permasalahan yang diangkat oleh peneliti.

### 3.4 Tahap Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data merupakan tahapan dalam penelitian ini yang dilakukan untuk mengumpulkan data-data yang diperlukan dalam penelitian ini. Data-data yang dikumpulkan akan difungsikan dalam pengolahan data penelitian ini. Adapun data-data yang dikumpulkan berasal dari data lapangan yang berasal dari *engineering department* Pertamina Petrochina East Java dan studi literature. Sumber data – data tersebut berkaitan dengan obyek penelitian, yaitu *pipeline 16"* dari *Block Valve 2* sampai *Block Valve 3*. Data – data tersebut antara lain sebagai berikut :

- Gambar layout *onshore pipeline 16"* – dari *Block Valve 2* sampai *Block Valve 3*
- Data spesifikasi material pipa (jenis material, NPS, *schedule*, CA)
- Data *Soil properties*
- Data temperatur (desain dan operasi)
- Data tekanan (desain dan operasi)
- Data layout mitigasi

### 3.5 Tahap Analisa dan Pengolahan Data

Data-data yang telah dikumpulkan tersebut, kemudian akan diolah untuk mendapatkan nilai-nilai yang akan dianalisis sesuai dengan *code and standart* ASME B31.4 2012. Adapun beberapa nilai yang akan dicari adalah sebagai berikut :

#### 3.5.1 Perhitungan *Stress* maksimal pada area monitoring *buckling*

Pada tahap ini akan dilakukan perhitungan *stress* maksimal pada area monitoring *buckling*. Adapun beberapa perhitungan yang perlu dilakukan sebagai berikut :

- a. Menghitung ketebalan pipa. Nilai dari tebal pipa harus lebih besar dari nilai  $t_n$  sesuai dengan *criteria for pipe wall thickness and allowance* ( $t_n \geq t + A$ ) pada paragraph 403.2.1 ASME B31.4 2012.

- b. Menghitung beban total pipa berdasarkan jumlah berat pipa dan fluida pada tiap segmen. Segmen pipa diambil dari permodelan AUTOPIPE.
- c. Menghitung nilai tegangan izin pipa berdasarkan tegangan ijin terletak pada *restraint pipeline* atau tertahan sesuai dengan paragraph 401.2.1 B31.4 pada point (b) *restraint pipeline section (1) buried pipeline* sehingga perhitungan nilai tegangan ijin mengacu pada tabel 403.3.1-1 *Allowable values for pipeline system stresses* untuk lokasi *restraint pipeline*. Adapun tegangan ijin yang perlu dicari adalah tegangan ijin *internal pressure*, tegangan ijin *thermal expansion*, tegangan ijin *longitudinal stress*, tegangan ijin *equivalen von mises*, tegangan ijin akibat *sustained load*, dan tegangan ijin akibat *expansion load*.
- d. Tegangan *hoop* atau tegangan melingkar itu disebabkan karena *internal pressure*. Menghitung *hoop stress*, nilai dari *hoop stress* tidak boleh lebih dari  $0,72 S_y$  (  $SH \leq 0,72 S_y$  ) sesuai dengan Tabel 403.3.1-1 *allowable value for pipeline system stress* ASME B31.4 2012.
- e. Menghitung *longitudinal stress*. Nilai dari *longitudinal stress* tidak boleh lebih dari  $0,9 S_y$  (  $SL \leq 0,9 S_y$  ) sesuai dengan Tabel 403.3.1-1 *allowable value for pipeline system stress* ASME B31.4 2012. Adapun komponen tegangan longitudinal yang perlu dicari adalah :
  - Tegangan Longitudinal akibat *Expansion Thermal*
  - Tegangan Longitudinal akibat *Bending Moment*
  - Tegangan Longitudinal akibat *Poisson Ratio*
  - Tegangan Longitudinal akibat *Axial Forces*
- f. Menghitung tegangan equivalent Von Mises sesuai dengan persamaan tegangan ekuivalen *Von Mises*. Nilai-nilai dari tegangan equivalent Von Mises tidak boleh lebih dari  $0,9 S_y$  (  $Seq \leq 0,9 S_y$  ) sesuai dengan Tabel 403.3.1-1 *allowable value for pipeline system stress* ASME B31.4 2012. Pada tegangan ekuivalen, dilakukan perhitungan berdasarkan jenis beban yaitu tegangan ekuivalen akibat *sustained load* dan tegangan ekuivalen akibat *expansion load*.
- g. Perhitungan gaya friksi tanah tergantung pada jenis tanah *backfill* yang digunakan serta ketinggian timbunan tanah diatas pipa.



### 3.5.2 Permodelan AUTOPIPE

Pada permodelan AutoPIPE, akan dilakukan permodelan untuk mendapatkan nilai maksimal *stress* sesuai input beban pada perhitungan. Adapun tahap – tahap pemodelan AutoPIPE sebagai berikut:

- Input data dan pemodelan pipa sesuai dengan data koordinat yang diberikan oleh *engineering departement* JOB PPEJ.
- Kemudian *start run*, jika tidak ada *error* saat *start run* dapat dilanjutkan pada pemodelan *underground pipeline* tetapi jika terdapat *error* harus di selesaikan terlebih dulu masalahnya.
- *Underground pipeline modeler*, pada tahap ini terdapat input data tanah sesuai dengan kondisi di lapangan.
- *Run Analysis*, pada tahap ini dilakukan analisa sehingga nanti akan keluar *report stress*.

### 3.5.3 Analisis Strain

Menghitung nilai *relative strain* sesuai dengan persamaan (2.20). Nilai *strain* tidak boleh lebih dari 2 % ( *allowable strain*  $\leq 2\%$  ) sesuai dengan paragraph 403.3.3 *strain criteria for pipeline* pada ASME B31.4 2012.

### 3.5.4 Permodelan ANSYS 16.0

Permodelan ANSYS 16.0 digunakan untuk mencari nilai *strain* pada jalur perpipaan yang diteliti serta mendapatkan nilai total deformasi. Pada permodelan ANSYS 16.0 digunakan analisa *statik structural*. Adapun beberapa langkah yang dilakukan sebagai berikut:

- a. Membuat geometri pipa berdasarkan ketebalan dan panjang pipa
- b. Melakukan *meshing*. Pada tahap ini, pipa akan dibagi menjadi beberapa bagian kecil sehingga dapat dilakukan pendekatan numeric .
- c. *Statik structural*, pada tahap ini masuk pada tahap *solution*. Analisa yang akan dilakukan pada tahap ini adalah mencari nilai *strain*, untuk itu input yang dimasukkan adalah *equivalent stress and strain*.

### 3.5.5 Review Hasil Perhitungan dan Permodelan

Pada tahap ini akan dilakukan review hasil perhitungan dan permodelan berdasarkan grafik yang dihasilkan. Tahap ini juga dilakukan penjabaran mengenai hasil grafik yang ada.

### **3.5.6 Efektivitas Tegangan Mitigasi *Upheaval Buckling***

Setelah mendapatkan nilai tegangan dan regangan, maka tahap selanjutnya dalam pengolahan data adalah mencari keefektifan tegangan mitigasi yang telah dilakukan oleh perusahaan. Dalam mencari nilai keefektifan mitigasi *buckling* menggunakan data pemantauan mitigasi *upheaval buckling* metode *paired sample t – Test*.

### **3.6 Tahap Kesimpulan dan Saran**

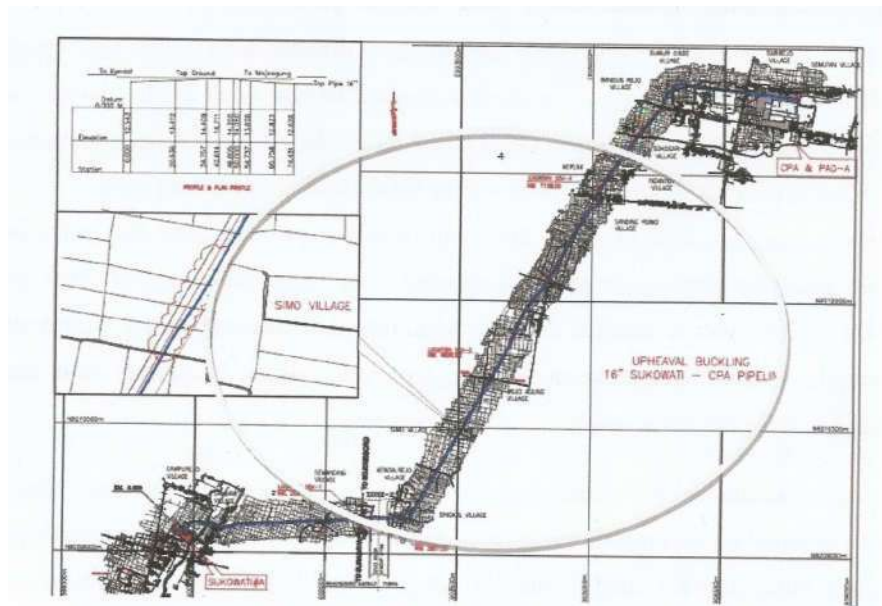
Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap data yang telah diolah. Hasil perhitungan dan hasil permodelan pada AUTOPIPE dan ANSYS 16.0 (*statik structural*) akan dianalisa guna mendapatkan sebuah kesimpulan. Kesimpulan ini nantinya digunakan untuk menjawab rumusan masalah telah disusun pada penelitian ini. Selain itu, pada tahap ini juga dibahas mengenai objek penelitian selanjutnya yang lebih luas. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi pertimbangan dan referensi selanjutnya.

*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 4

### ANALISA HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini akan dilakukan analisa terkait studi kasus pipa penyalur *onshore* pipa milik PT. JOB Pertamina Petrochina, dimana pipa penyalur tersebut melintang antara bojonegoro hingga tuban. Pipa yang dianalisa adalah pipa yang berada diantara *block valve 2 – block valve 3* sepanjang 1,016 km seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1 dibawah ini.



**Gambar 4.1 Lokasi Pipa**

Pada kasus ini, terdapat kegagalan dalam bentuk *upheaval buckling* di sepanjang node 64 – 71 segmen pipa dengan defleksi vertikal tertinggi 2,2 m dar ground elevation.

#### **4.1 Properti Pipeline**

Karakteristik suatu pipa bergantung pada nilai pipa yang di desain pada saat mode instalasi dan operasi yang nantinya akan mempengaruhi fisik pipa penyalur baik secara struktural seperti ketebalan pipa yang harus memenuhi standar yang digunakan sehingga pipa penyalur dapat beroperasi dengan optimal selama masa instalasi ataupun operasi. Berikut data material pipa penyalur 16” Sukowati *Centra Processing Area* (CPA) Mudi tepatnya antara *block valve 2 – block valve 3* seperti pada Tabel 4.1.

**Tabel 4.1 Data Material Pipeline 16"-HL-4064-3B**

Parameter	Nilai			
<i>Material</i>	API 5L Grade B			
<i>NPS</i>	16"			
<i>OD</i>	0,4064	Meter	16	Inch
<i>ID</i>	0,373	Meter	14,688	Inch
<i>Thickness</i>	0,016764	Meter	0,66	Inch
<i>Temperature Instalasi</i>	60	°C	140	F
<i>Operating Temperature</i>	83,34	°C	182	F
<i>Operating Temperature</i>	105	°C	220	F
<i>Design Pressure</i>	10,2	MPa	1480	Psi
<i>Internal Pressure</i>	4,58501	Mpa	665	Psi
<i>SMYS</i>	241	Mpa	35000	Psi
<i>SMTS</i>	414	MPa	60000	Psi
<i>Depth</i>	2	Meter	78,7402	Inch
<i>Young Modulus</i>	198000	Mpa	28717472,1	Psi
<i>Joint Factor</i>	1			
<i>Poisson Factor</i>	0.3			
<i>Rho pipe</i>	7833,413	Kg/m <sup>3</sup>	0,283	lb/in <sup>3</sup>
<i>Rho fluid</i>	824,8612	Kg/m <sup>3</sup>	0,0298	lb/in <sup>3</sup>
<i>Thermal Coeff</i>	0,00000117	mm/mm/°C	0,0000065	Inch/inch/F
<i>Gravity</i>	9,8	m/s <sup>2</sup>	385,8	In/s <sup>2</sup>
<i>Pipeline Lenght</i>	1017,1	meter	40043,3071	Inch

Pipa penyalur berdiameter 16" dengan *schedule* 60 dan menggunakan material API 5L grade B. Pipa ini digunakan untuk mengalirkan *crude oil* dari *Field* Sukowati A, Bojonegoro – *Central Processing Area*, Tuban sepanjang 10,5 km dengan temperature 182 F dan tekanan operasi 665 psi. Dari data yang diperoleh, diketahui pipa tersebut berada pada kondisi *high temperature* dan *high pressure*, kondisi ini dapat mengakibatkan pipa berada dalam kondisi termal ekspansif hingga terjadi kegagalan berupa *buckling*. Pada kasus ini, *buckling* yang terjadi adalah *upheaval buckling* dan pihak perusahaan sudah melakukan mitigasi dengan cara memasang 3 *fixed support*, menimbun pipa yang terdeformasi sedalam 2 meter

dengan tanah yang kemudian ditambahkan *downforce* 2 ton beton pada area *upheaval buckling*. Perhitungan properti pipa menggunakan data-data material pipa diatas ditunjukkan pada Tabel 4.2 berikut:

**Tabel 4.2 Perhitungan *Properties Pipeline***

Parameter	Properti Pipa	Nilai	Satuan
Luas Penampang dalam pipa ( $A_i$ )	$A_i = \frac{1}{4} \pi D_i^2$	0,1092	$m^2$
Luas Penampang luar pipa ( $A_o$ )	$A_o = \frac{1}{4} \pi D_o^2$	0,129	$m^2$
Luas Penampang pipa ( $A$ )	$A_o = \frac{1}{4} \pi (D_o^2 - D_i^2)$	0,0204	$m^2$
Massa Pipa	$M_p = A \cdot \rho \text{ steel}$	160,158	$kg/m^3$
<i>Masa fluida</i>	$M_f = A \cdot \rho \text{ fluida}$	90,133	$kg/m^3$
<i>Massa Total</i>	$M_{total} = M_p + M_f$	250,292	$kg/m^3$
<i>Momen Inersia Pipa</i>	$I = \frac{\pi}{64} (D_o^4 - D_i^4)$	0,00038	$m^4$
<i>Section Modulus</i>	$Z = \frac{\pi \times (D_o^4 - D_i^4)}{32 \times D_o}$	0,00191	$m^3$

## 4.2 Data Tanah

Gaya aksial yang menyebabkan *buckling* ditahan oleh gaya friksi tanah dan berat total pipa. Maka dari itu, analisa jenis dan properti pipa sangat penting. *Pipeline* berada antara *block valve* 2 sampai *block valve* 3 ini telah dilakukan analisa tanah oleh perusahaan pada titik-titik *hand boring*. Hasil yang didapatkan adalah jenis tanah di sepanjang area yang dilalui *pipeline* berjenis *slit clay* dengan tekanan yang berbeda-beda seperti pada Tabel 4.3 berikut.

**Tabel 4.3 Properti Tanah**

Properti Tanah Kedalaman 2 meter	
Jenis Tanah	Silty Clay
Massa Jenis Tanah	1500 (kg/m <sup>3</sup> )
Koefisien Friksi Tanah	0,33

Sumber : *Analysis and recommendation* from PT. Soilens Bandung

Pipa 16” milik PT. JOB PPEJ yang terbentang sepanjang 1,016 km dari *block valve* 2 sampai *block valve* 3 terkubur sedalam 2 m dengan jenis tanah *slity clay*, dimana tanah lempung (*clay*) adalah tanah yang memiliki sifat permeabilitas yang rendah, kenaikan air kapiler yang tinggi, sangat kohesif dan memiliki proses konsolidasi yang lambat.

#### 4.3 Tegangan Ijin

Dalam perhitungan tegangan ini sesuai dengan ASME B31.4 2012, ketentuan tegangan yang diijinkan yang ditunjukkan pada Tabel 4.4 sebagai berikut:

**Tabel 4.4 Tegangan Ijin**

Tegangan	Tegangan Kerja yang Diijinkan	Nominal
Internal Pressure Stress	0,72 SMYS	173,52 Mpa
Longitudinal Stress	0,9 SMYS	216,9 Mpa
Equivalent Combined Stress	0,9 SMYS	216,9 Mpa

Sumber: Code ASME B31.4 tahun 2012

#### 4.4 Analisa Ketebalan Ketebalan *Pipeline*

Desain pipa dirancang agar pipa dapat menahan tekanan maksimum yang diijinkan bekerja di dalamnya, oleh karena itu ketebalan *pipeline* harus di analisa untuk mengetahui apakah *pipeline* tersebut telah memenuhi kriteria *code* dan standar B31.4 untuk *crude oil pipeline*. *Specified Minimum Yield Strenght* (SMYS) material API 5L Grade B sesuai dengan *table* 403.2.1-1 B31.4 adalah 35000 psi dengan *faktor joint* 1 dan faktor desain untuk *pipeline* adalah 0.72 sesuai dengan *Table* A402.3.5-1 B31.4 perhitungan awal ketebalan *pipeline* 16” pada Persamaan 2.1 sebagai berikut:

$$t = \frac{Pd.D}{20S} \quad (2.1)$$

$$t = \frac{102,04bar \times 406,4mm}{20 \times 173,52 Mpa}$$

$$t = 11,95 \text{ mm}$$

$$t = 0,0119 \text{ m}$$

Dapat dilihat dari perhitungan diatas bahwa *pipeline* 16” dengan material API 5L Grade B memerlukan ketebalan pipa minimal 11,95 mm untuk menahan *pressure design* yaitu 10,204 MPa. Ketebalan tersebut lebih kecil jika dibandingkan dengan ketebalan *pipeline* dalam kondisi real yang digunakan di lapangan yakni 16,66 mm. Maka dengan ketebalan *pipeline* 16,66 mm ini dapat menahan tekanan operasi 4,585 MPa dan tidak akan mengalami kelebihan tekanan akibat fluida.

#### 4.5 Analisa Beban Total Pipeline

Pada analisa berat total pipa didapatkan dengan menjumlah berat pipa dengan berat fluida, sehingga berat total pipa akan berbeda – beda tiap segmen dikarenakan panjang setiap segmen pipa yang tidak sama. Contoh perhitungan pipa dari segmen 1 diambil dari titik (node) 1-2 sebagai berikut :

- *Self Weight of Pipe*  

$$= \pi \times 0.25 (OD^2 - ID^2) \times \rho_{\text{pipa}} \times \text{panjang pipa per segmen} \times \text{gravitasi}$$

$$= 0,7874$$
- *Content Weight*  

$$= \pi \times 0.25 (ID^2) \times \rho_{\text{crude oil}} \times \text{panjang pipa per segmen} \times \text{gravitasi}$$

$$= 1238,384$$
- Berat Total  

$$= (\text{self weight of pipe} + \text{content weight})$$

$$= 1933,905$$
- Berat Pipa per Panjang  

$$= \text{total weight} / \text{panjang pipa}$$

$$= 2456,064$$

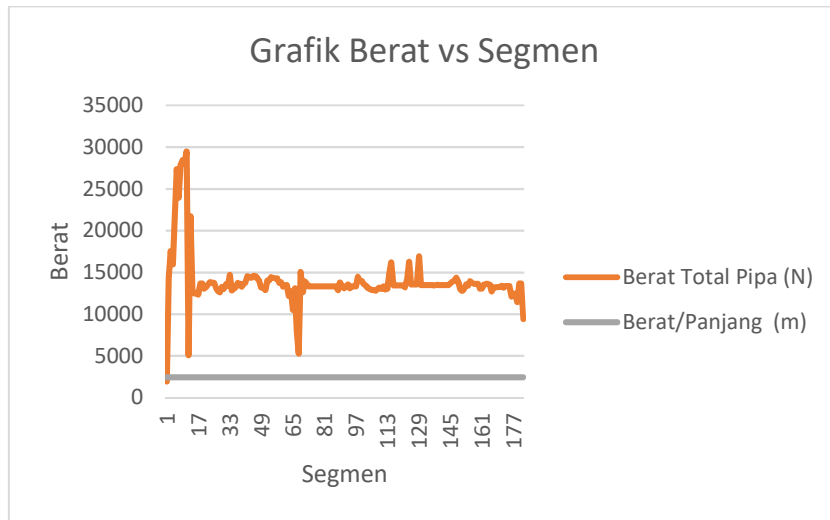
**Tabel 4.5 Perhitungan beban total pipa tiap segmen**

No. Segmen	Panjang Pipa (N)	Berat Pipa (kg)	Berat Fluida (kg)	Berat Total Pipa (kg)	Berat/Panjang (kg/m)
11 (Maksimal)	12,009	18887,168	10607,703	29494,871	2456,064

Data perhitungan Tabel 4.5 diatas diketahui segmen 11 merupakan segmen yang memiliki berat total pipa terberat karena segmen ini memiliki panjang pipa



terpanjang kemudian di transformasi menjadi sebuah grafik yang menunjukkan hubungan antara segmen dan berat pipa.



**Gambar 4.2 Berat vs Segmen**

Grafik 4.2 diatas menunjukkan berat total tiap segmennya berbeda-beda, perbedaan ini disebabkan karena perbedaan panjang tiap segmennya tetapi untuk berat per panjangnya tetap yakni 2456 N/m.

#### **4.6 Analisa Tegangan Pipeline**

Tegangan-tegangan yang bekerja di dalam pipa harus diperhitungkan sehingga kegagalan-kegagalan saat kondisi operasi dapat dihindari. Tegangan yang bekerja pada *pipeline* ini diharapkan tidak melebihi tegangan yang diijinkan. *Upheaval buckling* adalah suatu kegagalan pada pipa yang disebabkan gaya longitudinal kompresif lebih besar dari gaya friksi tanah dan tidak mampu ditahan oleh tanah sehingga terjadi defleksi ke arah atas. Oleh karena itu perhitungan dan analisa pada tegangan yang bekerja pada pipa untuk mengetahui penyebab *upheaval buckling* serta mengetahui apakah tegangan yang bekerja masih dibawah tegangan ijinnya.

##### **4.6.1 Tegangan Hoop**

Tegangan akibat *internal pressure* atau biasa yang disebut dengan tegangan hoop merupakan tegangan yang ditimbulkan akibat tekanan internal (fluida) yang bekerja dalam arah tangensial (*circumferential*) di dalam pipa. Nilai tegangan ini dipengaruhi oleh beberapa parameter yakni tekanan akibat fluida, diameter dan ketebalan *pipeline*. Tegangan hoop ini harus memenuhi standar dan code ASME

B31.4, sesuai dengan persamaan pada section 403.3.1-1 B31.4 untuk *restrained pipeline*. Berikut perhitungan tegangan ijin dan tegangan *internal pressure* (hoop) sesuai Persamaan 2.3:

$$SH = \frac{P_i D}{2t} < 0,72 \text{ SMYS} \quad (2.3)$$

$$SH = \frac{45,8501 \text{ bar} \times 406,4 \text{ mm}}{2 \times 16,764 \text{ mm}} < 0,72 \times 35000 \text{ psi}$$

$$SH = 55,5758 \text{ Mpa} < 173,52 \text{ MPa}$$

Dalam perhitungan diatas, tegangan hoop pada *pipeline* 16” milik PT. JOB PPEJ tidak melebihi tegangan ijinnya.

#### 4.6.2 Tegangan Longitudinal Karena Ekspansi Termal

Perbedaan temperature pada saat kondisi instalasi dan operasi menyebabkan timbulnya tegangan ekspansi termal yang bekerja pada arah longitudinal pipa. Namun sesuai dengan code dan standar ASME B31.4, pipa yang tertanam di dalam tanah menyebabkan pipa itu berada dalam kondisi yang disebut tertahan (*restrained pipeline*). *Restrained pipeline* tidak dapat mengalami ekspansi sehingga timbul tegangan tekan termal. Berikut ini perhitungan tegangan ekspansi termal sesuai Persamaan 2.5 :

$$Se = E. a (T1 - T2) \quad (2.5)$$

$$= 1,17 \times 10^{-5} \text{ mm/mm/}^{\circ}\text{C} \times 198.000 \text{ MPa} \times (105 - 60 \text{ }^{\circ}\text{C})$$

$$= 104 \text{ Mpa}$$

Sesuai perhitungan diatas bahwa tegangan ekspansi termal yang bekerja dalam arah longitudinal tidak melebihi tegangan ijinnya.

#### 4.6.3 Tegangan Longitudinal Karena *Poisson Ratio*

Pipa tertahan (*restraint pipeline*) akan menimbulkan reaksi tegangan tarik akibat pengaruh Poisson dari tegangan *internal pressure* (hoop). Pengaruh Poisson menggambarkan rasio regangan yang terjadi pada arah melintang terhadap regangan pada arah longitudinal. Dengan kata lain, tegangan hoop akan menimbulkan pengaruh tegangan tarik Poisson pada arah longitudinal (Rahman, 2012). Perhitungan tegangan tarik longitudinal akibat pengaruh Poisson pada pipa kondisi tertahan sesuai Persamaan 2.9 sebagai berikut:

$$S_{\text{Poisson}} = \nu. SH \quad (2.9)$$

$$= 0,3 \times 55,5758 \text{ MPa}$$

$$= 16,673 \text{ MPa}$$

$$\nu = \text{Poisson's Ratio} = 0,3 \text{ for steel pipe}$$

#### 4.6.4 Tegangan Longitudinal Karena Gaya Aksial

Tegangan longitudinal kompresif akibat gaya aksial ini dinyatakan sebagai perbandingan luas penampang internal pipa dengan luas penampang *pipeline cross section* dapat dihitung dengan persamaan 2.15:

$$S_{lax} = F/A$$

$$S_{lax} = P A_i / A$$

$$S_{Lax} = \frac{4,58 \text{ MPa} \times 0,109 \text{ m}^2}{0,020 \text{ m}^2}$$

$$S_{lax} = 24,5 \text{ Mpa}$$

#### 4.6.5 Tegangan Longitudinal Karena Momen Bending

Tegangan moment bending pada arah longitudinal setiap segmennya dapat dihitung dengan perhitungan sebagai berikut (contoh perhitungan node 1-2) :

- Momen Bending

$$M_b = W l^2 / 12$$

$$M_b = \frac{2456 \frac{\text{kg}}{\text{m}} \times 0,7874 \times 0,7874}{12}$$

$$M_b = 126,73 \text{ N.m}$$

- Tegangan Akibat Momen Bending

$$S_b = M_b / z$$

$$S_b = 126,73 \text{ N.m} / 0,00191 \text{ m}^3$$

$$S_b = 0,0663507853 \text{ Mpa}$$

#### 4.6.6 Tegangan Longitudinal Total

Dalam ASME B.314 2012, *underground pipeline* adalah pipa tertahan (*restraint pipeline*) maka untuk mendapatkan nilai tegangan longitudinal total pada pipa *restraint* yang ditimbulkan oleh berbagai tegangan dapat dihitung sesuai persamaan 2.10 yang mengacu pada paragraph 402.6.1 B31.4 tahun 2012 untuk pipa minyak (contoh perhitungan node 1-2) :

$$SL = SE + \nu SH + \frac{M}{Z} + S_{lax} + S_b \quad (2.10)$$

$$SL = 104 + 16,673 + 0,066 + 24,505$$

$$SL = 145,491 \text{ Mpa}$$

#### 4.7 Tegangan *Combinated Stress*

Pada pipa tertahan (*restraint pipeline*), tegangan yang bekerja seperti tegangan internal pressure (hoop) dan tegangan total longitudinal memiliki hasil tegangan dengan arah yang berbeda-beda, oleh karena itu akan digunakan hubungan von mises sehingga diperoleh tegangan equivalen von mises atau tegangan kombinasi, sesuai persamaan 2.12 yang mengacu pada paragraph 402.7 ASME B31.4 (contoh perhitungan node 1-2)

$$Seq = \sqrt{Sh^2 - ShSL + SL^2 + 3St^2} \quad (2.12)$$

$$Seq = \sqrt{110,3^2 - 110,3 \times 161,9 + 161,9^2}$$

$$Seq = 143,255$$

Note: nilai tegangan torsional diabaikan

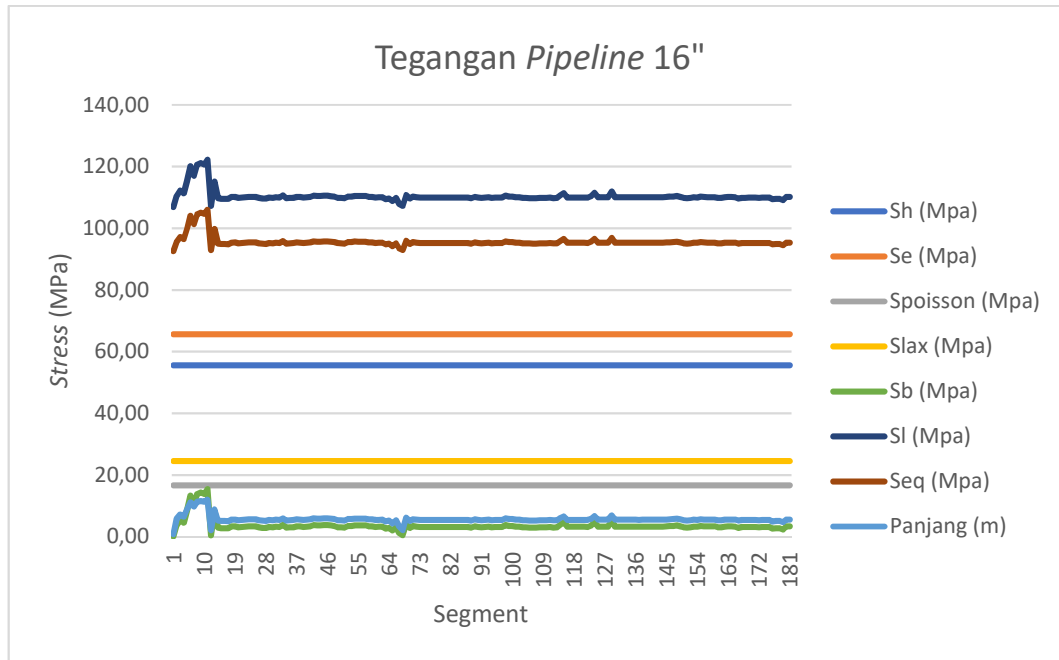
#### 4.8 Analisa Perhitungan Tegangan

Hasil perhitungan tegangan-tegangan yang bekerja pada pipa pada setiap segmen pipa disajikan dalam Tabel 4.6 berikut berikut (tegangan maksmlial dan tegangan pada area indikasi upheaval buckling node 64-71):

**Tabel 4.6 Perhitungan Tegangan**

No. segmen	Panjang (m)	Sh (MPa)	Se (Mpa)	Sposion (MPa)	Slax (MPa)	Sb (Mpa)	SL (Mpa)	Seq (MPa)
11	12,009	55,58	104	16,673	24,505	15,425	160,850	106,002
64	5,173	55,58	104	16,673	24,505	2,862	148,287	94,999
65	4,280	55,58	104	16,673	24,505	1,959	147,384	94,222
66	5,339	55,58	104	16,673	24,505	3,049	148,473	95,160
67	3,235	55,58	104	16,673	24,505	1,119	146,544	93,501
68	2,145	55,58	104	16,673	24,505	0,492	145,917	92,963
69	6,127	55,58	104	16,673	24,505	4,015	149,440	95,995
70	5,142	55,58	104	16,673	24,505	2,828	148,252	94,970
71	5,670	55,58	104	16,673	54,537	3,439	178,895	95,496

Nilai tegangan diatas akan ditransformasi menjadi sebuah Gambar 4.3 yang menunjukkan hubungan stress dengan segmen sehingga memudahkan pembacaan



**Gambar 4.3 Tegangan Pipeline 16"**

Keterangan :

- SH = Hoop Stress (Mpa)
- Se = Tegangan Longitudinal akibat tegangan ekspansi (Mpa)
- Spos = Tegangan Longitudinal akibat tegangan poisson (Mpa)
- Slax = Tegangan Longitudinal akibat axial force (Mpa)
- SL = Tegangan Longitudinal (Mpa)
- St = Tegangan Torsional (Mpa)
- Sb = Tegangan Bending (Mpa)
- Seq = Tegangan Combined Stress (Mpa)
- P = Panjang

#### 4.9 Gaya Friksi Tanah

Besarnya gaya friksi tanah didasarkan pada jenis tanah *backfill* yang digunakan untuk menimbun pipa serta ketinggian timbunan tanah di atas pipa. Selain itu juga, terdapat pengaruh lebar *trench* pipa. Besar gaya friksi tanah dan berat pipa dinyatakan dengan persamaan 2.17 berikut:

$$F = v. ((Pc \times Ac) + Wp) \quad (2.17)$$

$$F = 0,3 ((0,0015 \times 10^6 \text{ kg/m}^3 \times 0,127 \text{ m}^2 \times 2 \times 9,8 \text{ m/s}^2) + 2456)$$

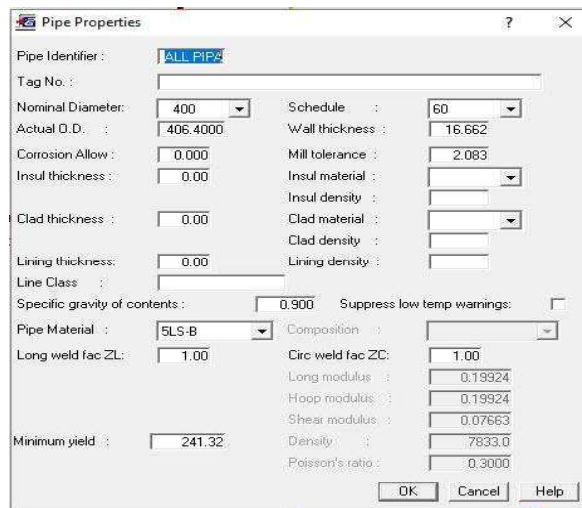
$$F = 3576,2 \text{ N/m}$$

#### 4.10 Permodelan Software Autopipe

Pemodelan yang pertama kali dilakukan adalah permodelan AUTOPIPE. Permodelan ini digunakan sebagai analisis awal penelitian ini. Software AUTOPIPE digunakan untuk mengetahui perbedaan tegangan pada *pipeline* 16” milik PT. JOB PPEJ. Permodelan tegangan menggunakan software AUTOPIPE dilakukan pada 3 kondisi berbeda yakni sebelum *buckling*, saat sesudah *buckling*, dan sesudah mitigasi terjadinya *upheaval buckling*. Permodelan software AUTOPIPE mengacu pada ASME B31.4 untuk pipa tertahan khusus minyak (*restrained pipe*). Permodelan dilakukan dengan membagi pipa sepanjang 1,016 km menjadi 181 segmen yang disesuaikan menggunakan data yang didapatkan dari perusahaan berupa data properti desain dan data koordinat As-Built. Data koordinat x, y, z yang nantinya akan dimasukkan secara manual pada software AUTOPIPE mulai dari node 1-2. Dalam proses permodelan sistem perpipaan, program akan meminta input data sebagai parameter permodelan

##### 4.10.1 Input Data Properti Pipa

Pada permodelan ini, panjang *pipeline* yang akan dimodelkan adalah 1,016 km dari *block valve* 2 sampai *block valve* 3 dengan data input properti seperti Gambar 4.4 berikut.



Gambar 4.4 Properti Pipa di AUTOPIPE

##### 4.10.2 Input Data Beban Operasi

Langkah selanjutnya adalah memasukkan data input berupa beban operasi. Beban operasi yang dimasukkan adalah data temperature dan tekanan seperti pada Gambar 4.5 berikut.

**Gambar 4.5 Input Temperature dan Tekanan**

#### 4.10.3 Input Data Lingkungan

Langkah ketiga adalah memasukkan data lingkungan. Pada data lingkungan yang dimasukkan merupakan data tanah dimana pipa tersebut dipendam. Pipa dipendam sedalam 2 meter dengan koefisien gesek sebesar 0,3 dengan massa jenis  $1500 \text{ kg/m}^3$ . Metode perhitungan di AUTOPIPE menggunakan acuan ASCE 2011 seperti pada Gambar 4.6.

Soil Parameters	Low	High	Average
Outside diameter, D [mm]	406.40		
Depth to centerline, H [mm]	2200.00		
Effective unit weight above pipe [kg/m <sup>3</sup> ]	1601.85	1601.85	1601.85
Total unit weight below pipe [kg/m <sup>3</sup> ]	1601.85	1601.85	1601.85
Dry unit weight above pipe [kg/m <sup>3</sup> ]	1601.85	1601.85	1601.85
Soil cohesion, c [N/m <sup>2</sup> ]	29420.00	29420.00	29420.00
Friction angle, phi [deg]	0.00	0.00	0.00
Coating factor, f			
Coefficient of pressure at Rest, K0			
Clay undrained shear strength, Su [N/m <sup>2</sup> ]			
Horizontal stiff. param. ki [lb/in <sup>3</sup> ]			
Horizontal yield parameter, dp [mm]	60.96	60.96	60.96
Longitudinal yield displacement, dl [mm]	10.16	10.16	10.16
Vertical up yield displacement, dqu [mm]	81.28	81.28	81.28

**Gambar 4.6 Input Properti Tanah**

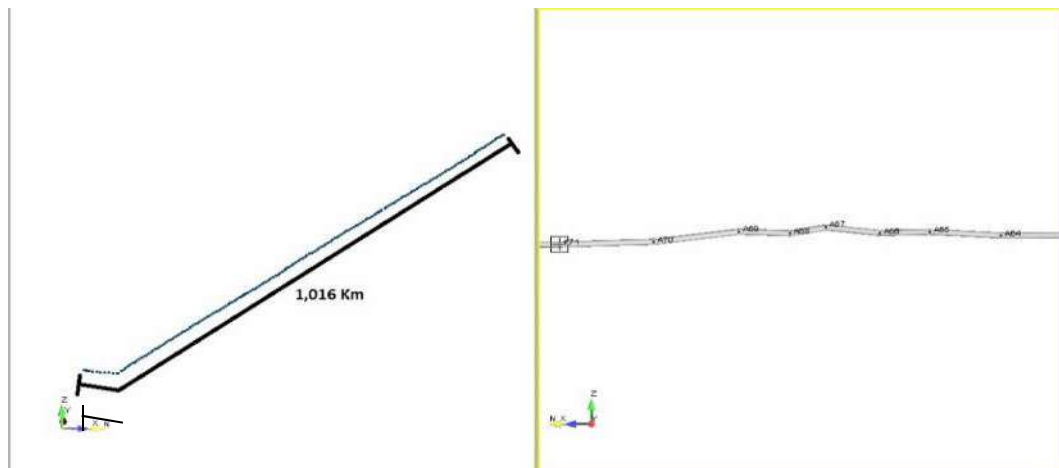
#### 4.10.4 Permodelan Pipa

Setelah memasukkan parameter-parameter yang diperlukan ke dalam AUTOPIPE, langkah selanjutnya adalah membuat model. Pembuatan model dilakukan dengan cara memasukkan kordinat pipa antara *block valve 2* hingga block vak *block valve 3*. Hasil permodelan yang telah dimasukkan seperti Gambar 4.7 berikut.

Review Component Data									
	From	To	Length mm	Offset DX mm	Offset DY mm	Offset DZ mm	Global X mm	Global Y mm	Global Z mm
Origin	A01								
A01	A02		5840.00	5839.88	-28.00	-25.00	5839.88	-28.00	-25.00
A02	A03		7321.65	7140.00	111.00	-1617.00	12979.88	83.00	-1642.00
A03	A04		6502.00	6502.00	-1.00		19481.88	82.00	-1642.00
A04	A05		9225.63	8863.00	105.00	-2559.00	28344.88	187.00	-4201.00
A05	A06		11142.38	11140.00	221.00	-65.00	39484.88	408.00	-4266.00
A06	A07		9833.21	9746.00	-1297.00	159.00	49230.88	-889.00	-4107.00
A07	A08		11391.95	11363.00	-809.00	-65.00	60593.88	-1698.00	-4172.00
A08	A09		11591.58	11578.00	-556.00	-74.00	72171.88	-2254.00	-4246.00
A09	A10		11394.87	11394.00	-126.00	-64.00	83565.88	-2379.00	-4310.00
A10	A11		12021.18	12009.00	511.00	-178.00	95574.88	-1868.00	-4488.00
A11	A12		2397.04	2075.00	1159.00	-51.00	97649.88	-669.00	-4539.00
A12	A13		19289.57	8844.01	17141.00	-137.00	106493.9	16472.00	-4676.00
A13	A14		11536.47	5231.00	10280.00	220.00	111724.9	26782.00	-4456.00
A14	A15		11605.99	5091.00	10420.00	452.00	116815.9	37172.00	-4004.00
A15	A16		11201.66	5083.00	5982.00	2.00	121858.9	47184.00	-4002.00
A16	A17		11057.43	5020.00	9846.00	-350.00	126918.9	57090.00	-4352.00

**Gambar 4.7 Kordinat Pipa**

Setelah memasukan koordinat pipa sepanjang 1,016 km , berikut Gambar 4.8 yang menunjukan hasil geometri sesuai permodelan AUTOPIPE:



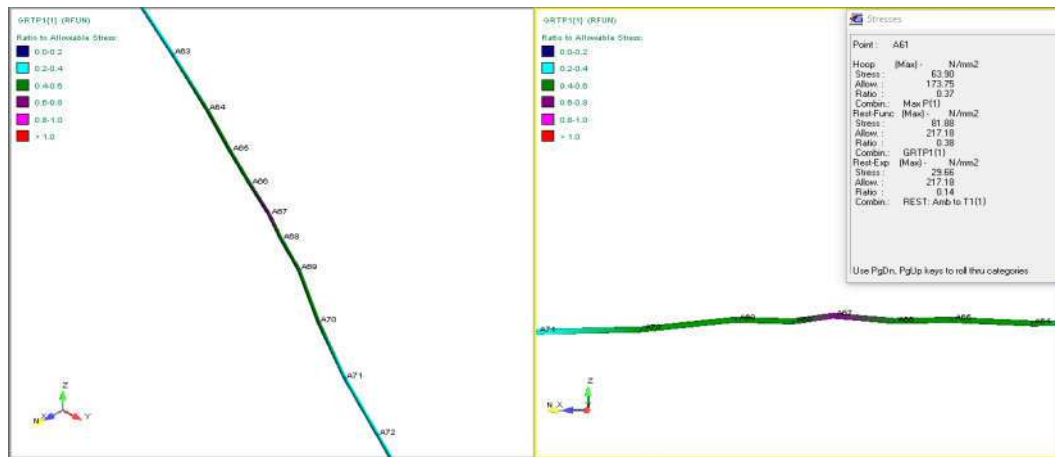
**Gambar 4.8 Hasil Input Kordinat Pipa**

Kemudian koordinat pipa tersebut digunakan untuk menentukan nilai tegangan – tegangan yang bekerja pada pipa sehingga mampu dilakukan evaluasi terhadap nilai tegangan yang dibandingkan dengan nilai tegangan izinnnya. Permodelan besaran tegangan menggunakan software AUTOPIPE.

#### 4.10.5 Sebelum Buckling

Untuk mengetahui tegangan pipeline 16” sebelum buckling maka perlu dilakukan permodelan software AUTOPIPE dengan memasukan data koordinat pipa. Permodelan dilakukan dengan satu jenis *soil model* sepanjang 1,016 km. Berikut permodelan software AUTOPIPE yang ditunjukan pada Gambar 4.9





**Gambar 4.9 Permodelan Pipa sebelum *Buckling***

Setelah mendapatkan hasil software AUTOPIPE, terdapat beberapa informasi yang dimunculkan oleh AUTOPIPE seperti *Combined Stress* dan *Stress Ratio*. Nilai yang berada pada *Combined Stress* merupakan jumlah *stress* yang terjadi pada permodelan tersebut. Nilai *Stress Ratio* merupakan perbandingan antara *Combined Stress* dengan nilai *Allowable Stress*.

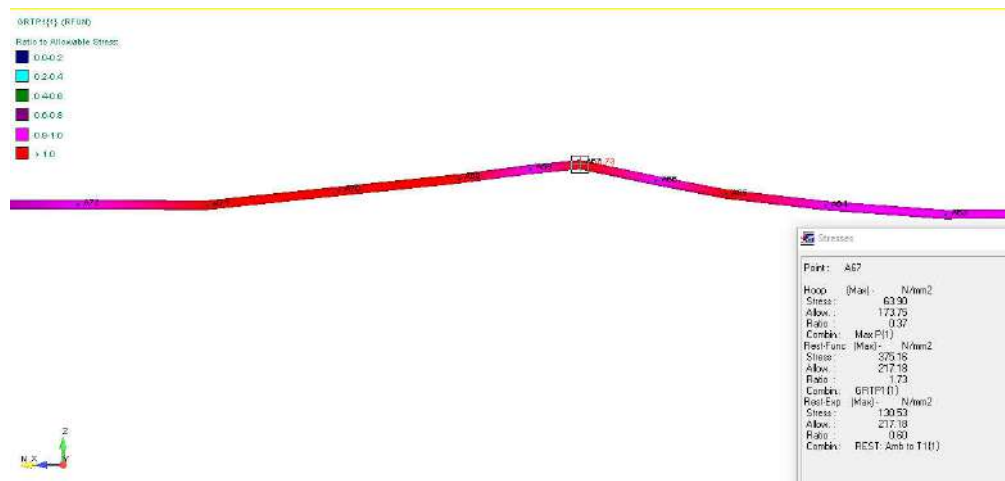
Berdasarkan data lokasi *pipeline 16"* milik PT. JOB PPEJ, kegagalan *upheaval buckling* terjadi pada titik 64 hingga 71. Sehingga, pada titik tersebut menjadi pokok peninjauan nilai tegangan pipa. Hasil yang didapatkan tidak ada segmen yang mengalami *overstress* baik pada indikasi daerah *upheaval* maupun keseluruhan pipa, titik yang mengalami maksimal stress adalah titik 67 sebesar 133.58 MPa dan *Allowable Stress* 217.18 MPa sehingga ratio yang didapatkan sebesar 0,85. Berikut Tabel 4.7 merupakan hasil permodelan *stress* sebelum terjadinya buckling.

**Tabel 4.7 Hasil Permodelan *Stress* Sebelum *Buckling***

No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
64	92,71	217	OK!
65	99,02	217	OK!
66	109,7	217	OK!
67	133,58	217	OK!
68	127,23	217	OK!
69	123,33	217	OK!
70	102,05	217	OK!
71	84,18	217	OK!

#### 4.10.6 Setelah Buckling

Permodelan kedua yang dilakukan adalah permodelan kondisi sesudah *buckling*. Permodelan AUTOPIPE sesudah buckling bertujuan untuk mendapatkan nilai tegangan pipa setelah mengalami *upheaval buckling* pada titik titik pipa dengan memasukan koordinat *upheaval* sama seperti langkah sebelumnya. *Pipeline* dimodelkan dengan memasukan *offset* sesuai koordinat yang didapatkan dari data koordinat – *as built pipeline*. Untuk data temperature yang dimasukkan menggunakan data temperature kenaikan temperatur operasi. Berikut hasil permodelan setelah buckling yang ditunjukkan pada Gambar 4.10



Gambar 4.10 Input Permodelan Sesudah Buckling

Setelah mendapatkan hasil software AUTOPIPE, terdapat beberapa informasi yang dimunculkan oleh AUTOPIPE seperti *Combined Stress* dan *Stress Ratio*. Nilai yang berada pada *Combined Stress* merupakan jumlah *stress* yang terjadi pada permodelan tersebut. Nilai *Stress Ratio* merupakan perbandingan antara *Combined Stress* dengan nilai *Allowable Stress*.

Berdasarkan data lokasi *pipeline* 16" milik PT. JOB PPEJ, kegagalan *upheaval buckling* terjadi pada titik 64 hingga 71. Sehingga, pada titik tersebut menjadi pokok peninjauan nilai tegangan pipa. Hasil yang didapatkan beberapa segmen yang mengalami *overstress* baik pada daerah indikasi upheaval maupun secara keseluruhan pipa, titik yang mengalami maksimal stress telah melewati batas *allowable stress* dan batas SMYS nya yaitu titik 67 sebesar 375,16 MPa dan *Allowable Stress* 217.18 MPa sehingga ratio yang didapatkan sebesar 1,673 Berikut ini Tabel 4.8 menunjukkan hasil permodelan *stress* sesudah *buckling*.

**Tabel 4.8 Hasil Permodelan Sesudah Buckling**

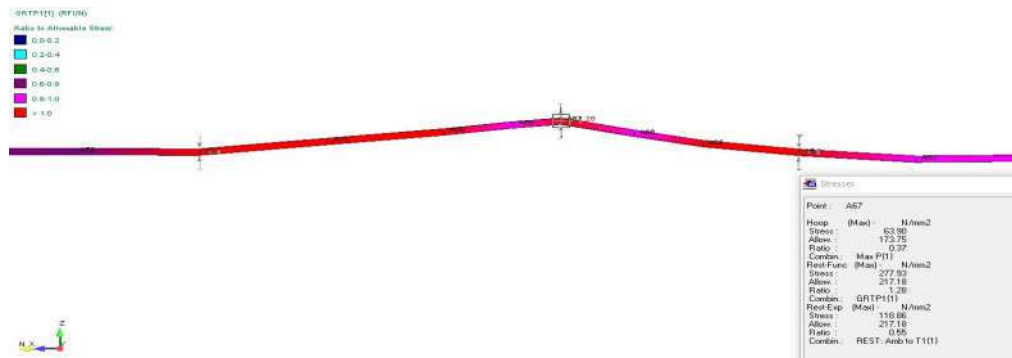
No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (MPa)	Ket
64	215,21	217	OK!
65	238,62	217	Melebihi
66	217,15	217	Melebihi
67	375,16	217	Melebihi
68	204,33	217	OK!
69	276,86	217	Melebihi
70	217,16	217	Melebihi
71	246,70	217	Melebihi

#### 4.10.7 Saat Mitigasi Buckling

Permodelan ketiga adalah permodelan pada kondisi setelah mitigasi. Tujuan dari dilakukannya permodelan ini adalah untuk mendapatkan nilai tegangan setelah dilakukan upaya mitigasi oleh perusahaan. Mitigasi yang dilakukan oleh perusahaan berupa pemasangan *fixed support*, dikubur sedalam 2m dan pemberian *downforce* (blok pedel) pada area upheaval buckling sepanjang 37,5 meter. Dalam permodelan setelah mitigasi, dilakukan variasi jumlah *support* yakni 1 *support*, 3 *support*, dan 5 *support* dengan variasi beban blok tanah pedel yang ditambahkan sebesar 1 ton, 2 ton, dan 3 ton. Jenis *support* yang digunakan dalam permodelan ini adalah *guide* sehingga diasumsikan pergerakan kearah lateral tidak ada (*fixed*). Hal ini dilakukan untuk mencari mitigasi yang sesuai berdasarkan nilai tegangan dan regangan setelah mitigasi dimodelkan.

##### 4.10.7.1 Mitigasi Buckling 3 Support dan 2 Ton

Permodelan pertama pada kondisi setelah mitigasi adalah memodelkan langkah mitigasi yang dilakukan oleh perusahaan berupa pemasangan 3 *fixed support* dengan posisi 2 *fixed support* di letakkan pada ujung-ujung kenaikan *upheaval buckling* dan 1 *fixed support* pada puncak *upheaval* yang kemudian pipa tersebut ditimbun dengan tanah setinggi 2 meter serta ditambahkan pemberat atau *downforce* diatasnya timbunan sepanjang area *upheaval buckling* berupa blok tanah pedel sejumlah 2 ton yang ditunjukkan pada Gambar 4.11.



**Gambar 4.11 Permodelan 3 Support 2 Ton**

Berdasarkan hasil permodelan yang telah dilakukan berdasarkan langkah mitigasi yang dilakukan perusahaan, didapatkan bahwa nilai *stress* mengalami penurunan dibandingkan dengan nilai *stress* pada kondisi *buckling*. Meskipun terjadi penurunan nilai *stress* pada saat mitigasi, akan tetapi nilai *stress* tersebut masih melebihi *allowable stress* pada beberapa titik yang ditunjukkan dengan warna merah pada hasil AUTOPIPE. Nilai *stress* terbesar terjadi pada puncak *buckling* yaitu titik 67 sebesar 277,93 Mpa dengan nilai *stress ratio* sebesar 1,28. Berikut nilai *stress* pada titik titik yang mengalami *upheaval buckling* ditunjukkan pada Tabel 4.9.

**Tabel 4.9 Hasil Permodelan 3 Support 2 Ton**

Jumlah Beban	No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
2 Ton	64	239,62	217	Melebihi
	65	250,01	217	Melebihi
	66	202,90	217	OK!
	67	277,93	217	Melebihi
	68	184,67	217	OK1
	69	275,18	217	Melebihi
	70	229,38	217	Melebihi
	71	230,18	217	Melebihi

Nilai tegangan von mises yang dihasilkan melalui permodelan AUTOPIPE kemudian dibandingkan dengan nilai allowable stress sehingga didapatkan keterangan seperti diatas. Nilai tegangan von mises yang melebihi allowable stress akan ditunjukkan dengan keterangan melebihi dan

jika nilai tegangan *stress* akan ditunjukkan dengan keterangan melebihi dan jika nilai tegangan von mises dibawah *allowable stress*, maka keterangan menunjukkan OK.

Berdasarkan hasil permodelan AUTOPIPE pada kondisi mitigasi yang dilakukan perusahaan (3*fixed support* dan beban 2 ton) terdapat beberapa nilai yang melebihi *allowable stress* yakni pada node 64, 65, 67, 69, 70, 71.

#### 4.10.7.2 Mitigasi Buckling 3 Support dan Variasi Beban

Permodelan kedua adalah memvariasikan beban pada pembebanan mitigasi. Dari permodelan mitigasi yang dilakukan oleh perusahaan yaitu menggunakan 3 *fixed support* yang diletakan pada ujung-ujung titik yang mulai mengalami *upheaval* (titik 64 dan 71) dan puncak *upheaval* (titik 67) serta pembebanan divariasikan 1 dan 3 ton blok tanah pedel sehingga didapatkan nilai tegangan pada masing masing titik *buckling* yang ditunjukan pada Tabel 4.10 berikut:

**Tabel 4.10 Hasil Permodelan 3 Support dengan variasi beban**

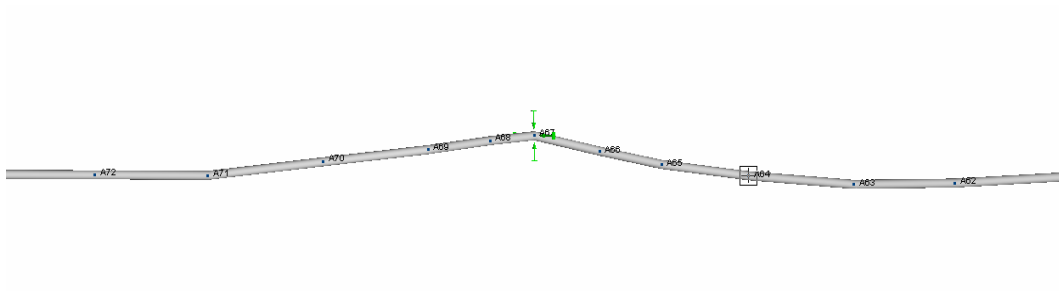
Jumlah Beban	No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
1 ton	64	214,85	217	OK!
	65	238,00	217	Melebihi
	66	193,92	217	OK!
	67	223,05	217	Melebihi
	68	189,41	217	OK!
	69	275,04	217	Melebihi
	70	229,30	217	Melebihi
	71	197,02	217	OK!
3 ton	64	264,52	217	Melebihi
	65	262,89	217	Melebihi
	66	213,65	217	OK!
	67	332,92	217	Melebihi
	68	193,60	217	OK!
	69	275.61	217	Melebihi
	70	230,09	217	Melebihi
	71	243,42	217	Melebihi

Setelah dilakukan permodelan dengan variasi beban pada pemasangan 3 *fixed support* dan penambahan *downforce* 2 ton terdapat

beberapa nilai yang berada diatas *allowable stress*. Pada pembebanan 1 ton, titik-titik yang mengalami kondisi *overstress* adalah titik 65, 67, 69, 70 dengan nilai *stress* tertinggi pada titik 69 sebesar 275,04 Mpa. Selain itu, permodelan kedua yaitu pembebanan 3 ton. Berdasarkan hasil diatas menunjukkan bahwa pembebanan 3 ton menghasilkan beberapa titik-titik *overstress* yaitu 64, 65, 67, 69, 70, 71 dengan nilai *stress* terbesar adalah pada titik 67 sebesar 332,92 Mpa. Pembebanan menggunakan beban 3 ton menghasilkan titik *overstress* lebih banyak dibandingkan dengan variasi pembebanan lain.

#### 4.10.7.3 Mitigasi Buckling 1 Support

Untuk mendapatkan hasil yang lebih baik maka dilakukan permodelan dengan melakukan variasi jumlah *fixed support*. Pada permodelan ini, dilakukan pemasangan *fixed support* sebanyak 1 buah pada puncak kegagalan *upheaval buckling* dengan variasi beban seperti pada Gambar 4.12 berikut.



**Gambar 4.12 Permodelan 1 Support**

Berikut ini Tabel 4.11 menunjukkan hasil yang didapatkan menggunakan software AUTOPIPE.

**Tabel 4.11 Hasil Permodelan 1 Support**

Jumlah Beban	No Titik (Node)	Von Mises Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
2 ton	64	207,86	217	OK!
	65	235,52	217	Melebihi
	66	193,98	217	OK!
	67	272,42	217	Melebihi
	68	180,65	217	OK!
	69	266,25	217	Melebihi
	70	209,35	217	OK!

Jumlah Beban	No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
	71	236,90	217	Melebihi
1 ton	64	210,07	217	OK!
	65	229,73	217	Melebihi
	66	186,54	217	OK!
	67	218,88	217	Melebihi
	68	185,77	217	OK!
	69	266,91	217	Melebihi
	70	211,71	217	OK!
	71	238,78	217	Melebihi
3 ton	64	205,69	217	OK!
	65	238,03	217	Melebihi
	66	203,19	217	OK!
	67	326,22	217	Melebihi
	68	190,58	217	OK!
	69	266,25	217	Melebihi
	70	207,04	217	OK!
	71	235,03	217	Melebihi

Setelah melakukan permodelan berupa pemasangan 1 *fixed support* dengan variasi pembebanan didapatkan hasil seperti di atas. Pada pembebanan menggunakan 1 ton, dihasilkan beberapa titik yang mengalami kondisi *overstress* yaitu 65, 67, 69, 71 dengan nilai *stress* terbesar berada pada titik 69 sebesar 266,91 Mpa.

Permodelan selanjutnya adalah variasi pembebanan 2 ton. Pada variasi pembebanan 2 ton didapatkan hasil beberapa titik mengalami kondisi *overstress* yaitu pada titik 65, 67, 69, 71 dengan *stress* terbesar berada pada titik 67 sebesar 272,42 Mpa.

Permodelan ketiga adalah variasi pembebanan 3 ton. Pada variasi pembebanan 3 ton dihasilkan beberapa titik mengalami kondisi *overstress* yaitu pada titik 65, 67, 69, 71 dengan *stress* terbesar berada pada titik 67 sebesar 326,22 Mpa. Dari hasil ketiga permodelan tersebut terdapat beberapa kesamaan yang terjadi yaitu masih adanya keadaan *overstress* pada titik kegagalan *buckling*.

Permodelan selanjutnya adalah melakukan pemasangan 5 *support* dengan variasi beban 1, 2, dan 3 ton. Variasi ini difungsikan untuk mendapatkan jumlah kondisi *overstress* yang seminimal mungkin. Pada permodelan sebelumnya, kondisi titik yang mengalami *overstress* berjumlah 4 hingga 5 titik. Hal ini mampu memicu terjadinya *buckling* lanjutan pada titik lain sehingga perlu dilakukan variasi jumlah *fixed support* demi mendapatkan kondisi titik tidak melebihi *allowable stress*. Pada pemasangan 5 *fixed support* dengan variasi pembebananan, diletakkan pada ujung *upheaval buckling* dan puncak *upheaval buckling* serta ditambah dengan 2 tambahan pada node 65 dan 69. Pengambilan titik ini dilakukan untuk membagi pipa sebelum puncak *buckling* dan sesudah puncak *buckling* terbagi rata sehingga *stress* yang mengenai pipa mampu terdistribusi secara merata seperti yang dimodelkan pada Gambar 4.13



**Tabel 4.12 Hasil Permodelan 5 *Support***

63



Jumlah Beban	No Titik (Node)	Von Misess Stress (Mpa)	Allowable (Mpa)	Ket
	68	181,50	217	OK!
	69	245,57	217	Melebihi
	70	226,74	217	Melebihi
	71	228,44	217	Melebihi
1 ton	64	180,91	217	OK!
	65	220,38	217	Melebihi
	66	219,98	217	Melebihi
	67	211,73	217	OK!
	68	170,68	217	OK!
	69	205,65	217	OK!
	70	215,58	217	OK!
	71	201,93	217	OK!
3 ton	64	224,01	217	Melebihi
	65	303,03	217	Melebihi
	66	276,25	217	Melebihi
	67	301,20	217	Melebihi
	68	194,05	217	OK!
	69	286,86	217	Melebihi
	70	241,01	217	Melebihi
	71	255,70	217	Melebihi

Setelah melakukan permodelan menggunakan 5 *fixed support* dengan variasi pembebanan, didapatkan hasil seperti pada tabel 4.12. Pada pembebanan menggunakan beban 2 ton didapatkan beberapa titik masih berada pada kondisi *overstress* yaitu pada titik 65,66,67, 69, 70, 71 dengan nilai *stress* terbesar pada titik 65 sebesar 261,63 Mpa.

Pada variasi pembebanan 1 ton didapatkan hasil beberapa titik masih mengalami kondisi *overstress* akan tetapi jumlahnya lebih sedikit dibandingkan pada pembebanan yang lain. Pada variasi pembebanan 1 ton, titik yang mengalami kondisi *overstress* yaitu titik 65 dan 66 dengan *stress* terbesar pada titik 65 sebesar 220,38 Mpa.

Pada variasi pembebanan 3 ton didapatkan hasil yang tidak jauh berbeda dengan pembebanan 2 ton. Pada variasi pembebanan 3 ton terdapat

beberapa titik yang mengalami kondisi *overstress* yaitu pada titik 64, 65, 66, 67, 69, 70, 71 dengan nilai *stress* terbesar berada pada titik 65 sebesar 303,03 Mpa.

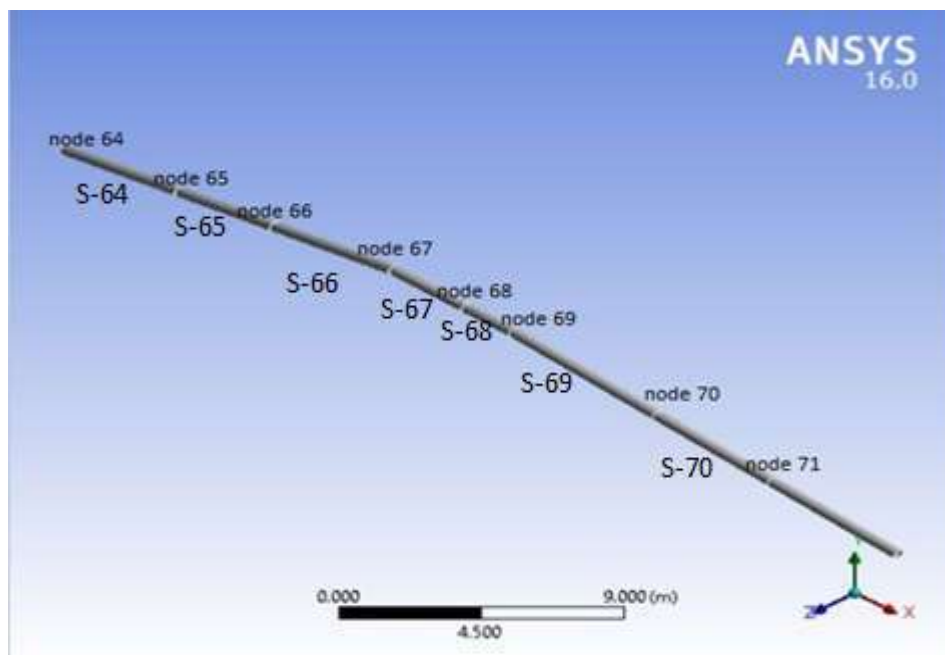
#### 4.11 Permodelan Software ANSYS

Permodelan menggunakan software ANSYS dilakukan untuk mendapatkan nilai *strain* yang terjadi pada pipa. Pada permodelan software ANSYS dilakukan 2 jenis kondisi permodelan yaitu permodelan saat *buckling* dan setelah mitigasi. Kedua permodelan ini nantinya akan menghasilkan nilai *strain* yang terjadi pada titik yang mengalami *upheaval buckling*. Data *strain* pada saat *buckling*, dijadikan acuan terhadap kenaikan dan penurunan nilai *strain* setelah mitigasi.

Dalam memodelkan menggunakan software ANSYS, terdapat beberapa langkah dalam mengatur *boundary condition* yang diinginkan dan disesuaikan dengan tujuan permodelan.

##### 4.11.1 Pembuatan Geometri

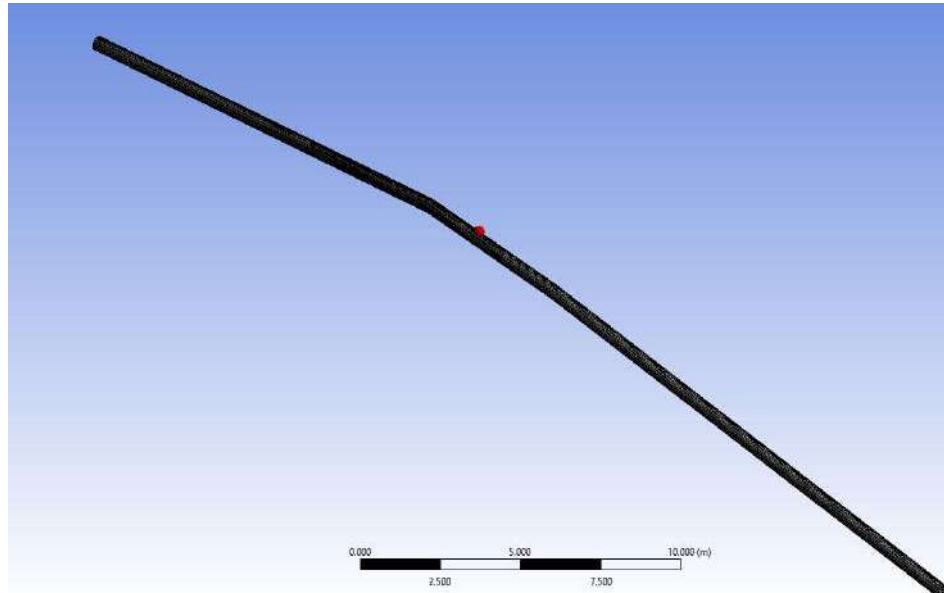
Pada permodelan software ANSYS, geometri *pipeline 16"* yang dibuat merupakan node dari 64 – 71. Node ini merupakan node *pipeline 16"* yang mengalami kondisi *buckling* sepanjang 37,5 meter dengan puncak *buckling* pada node 67 seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.14 berikut.



Gambar 4.14 Geometri Pipa

#### 4.11.2 Meshing

Langkah selanjutnya adalah *meshing*. Pada proses ini, pipa sepanjang 37,5 meter dibagi menjadi beberapa bagian kecil. Pada metode ini, *mesh size default* yang digunakan berukuran 5 cm. Pembagian elemen dalam meshing secara *coarse*. Permodelan meshing ditunjukkan pada Gambar 4.15 dibawah ini

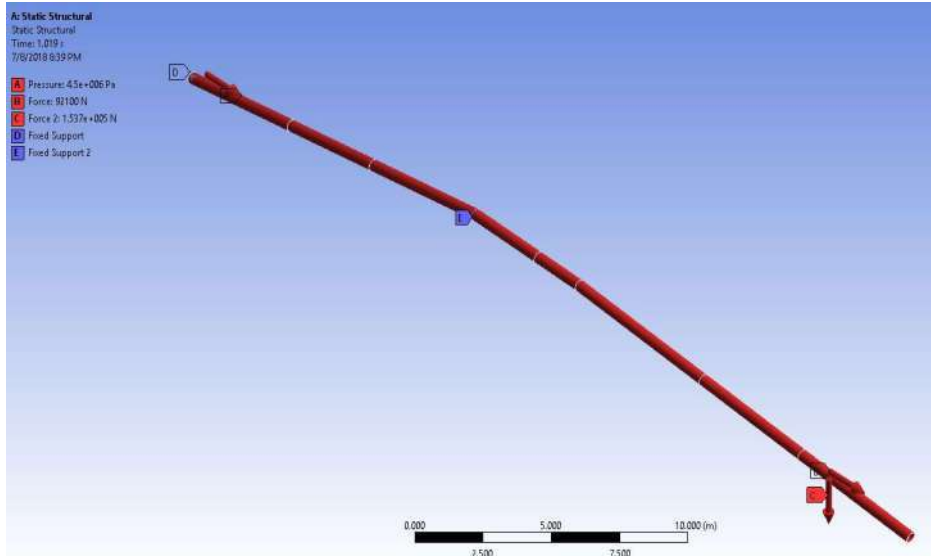


**Gambar 4.15 Meshing**

#### 4.11.3 Insert Boundary Condition

Pada bagian *insert boundary condition*, terdapat beberapa input yang harus di masukkan ke dalam permodelan yang ditunjukkan pada Gambar 4.16 sehingga permodelan memiliki keadaan yang bersifat sebenarnya. Pada permodelan setelah mitigasi *buckling*, beberapa variabel yang perlu dimasukkan adalah sebagai berikut:

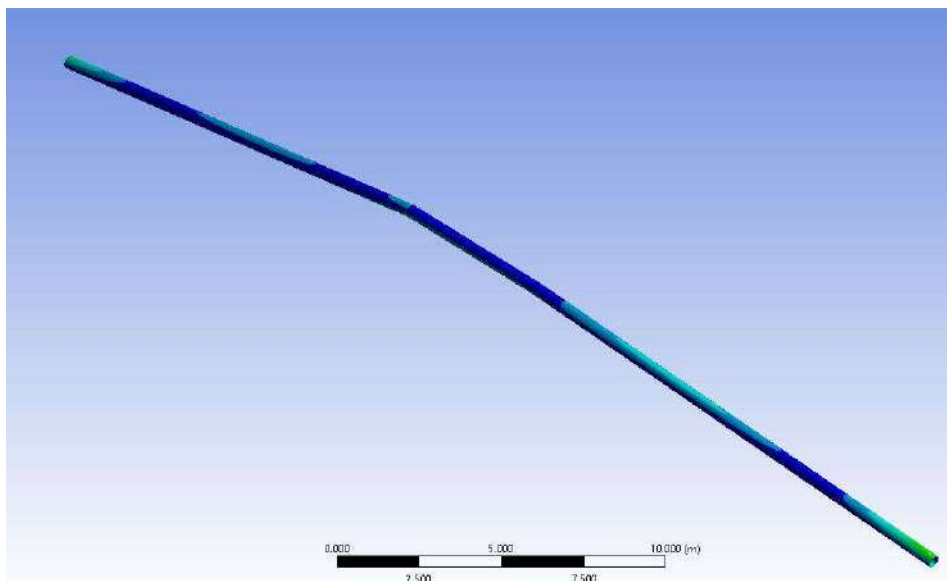
- Tekanan dalam pipa: 4,5 Mpa
- Beban Fluida : 2356 N/m
- Beban Tanah : 3576 N/m
- Beban *downforce* : Variasi beban 1 Ton, 2 Ton, 3 Ton
- Pemasangan *fixed support*



**Gambar 4.16 Insert Boundary Condition**

#### 4.11.4 Insert Solution

Pada bagian ini, kita memasukkan *solution* sesuai dengan apa yang diinginkan. Pada permodelan ini, solusi yang diinginkan adalah nilai *strain* permodelan yang ditunjukkan pada Gambar 4.17.



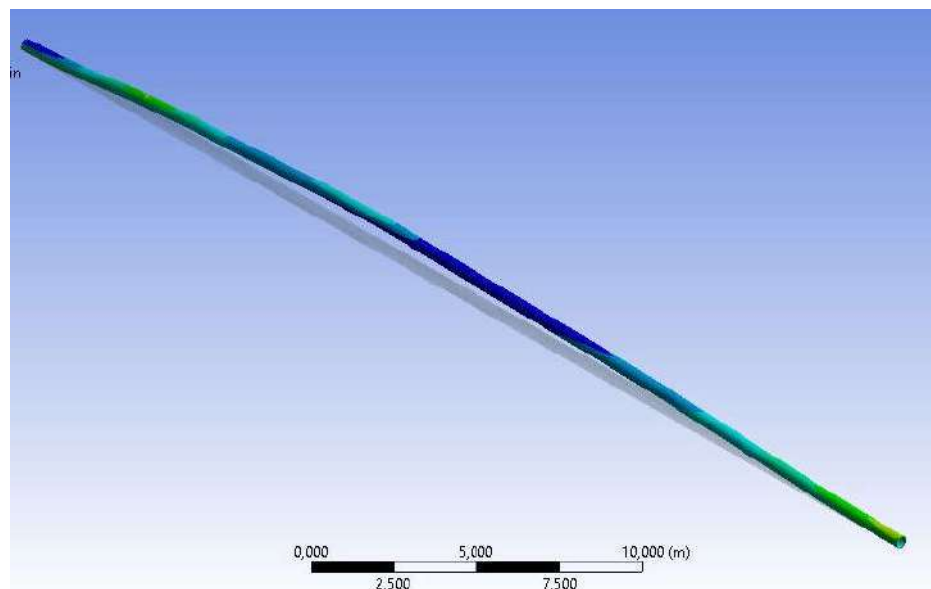
**Gambar 4.17 Solution - Strain**

#### 4.11.5 Permodelan Saat Buckling

Pada kondisi *buckling*, *pipeline 16"* dimodelkan sebagai suatu *pipeline* yang mengalami berbagai macam tekanan baik dari sekitar pipa (tanah) serta dari dalam pipa (fluida yang mengalir). Beberapa variabel pada *boundary condition* pada geometri pipa yang telah dibuat sebagai berikut:

- Instalasi Temperature: 55 °C
- Ekspansi Termal: 105 °C
- Internal Pressure: 4,5 Mpa
- Beban Fluida: 2356 N/m
- Beban Tanah: 3576 N/m
- Penambahan Displacement per Node

Setelah memasukkan *boundary condition* pada ANSYS, kemudian didapatkan nilai strain pada saat kondisi *buckling*. Nilai *strain* yang didapatkan merupakan nilai strain pada berbagai arah pipa dan *ekuivalent elastic strain* pada saat *buckling* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18** *Gambar pada sesudah buckling*

Adapun hasil buckling di rangkum dalam Tabel 4.13 seperti dibawah ini:

**Tabel 4.13 Hasil Permodelan *Strain Buckling***

Normal Strain (meter/meter)			Ekuivalent Elastic Strain (meter/meter)	Yield Strain	Keterangan	Maximal Tensile Strain	Keterangan
X	Y	Z					
0,5559%	(-) 0,19458%	(-) 0,16162%	0,5463%	0,5%	Melebihi	2%	Tidak Melebihi

(-) Nilai minus menunjukkan perbedaan arah

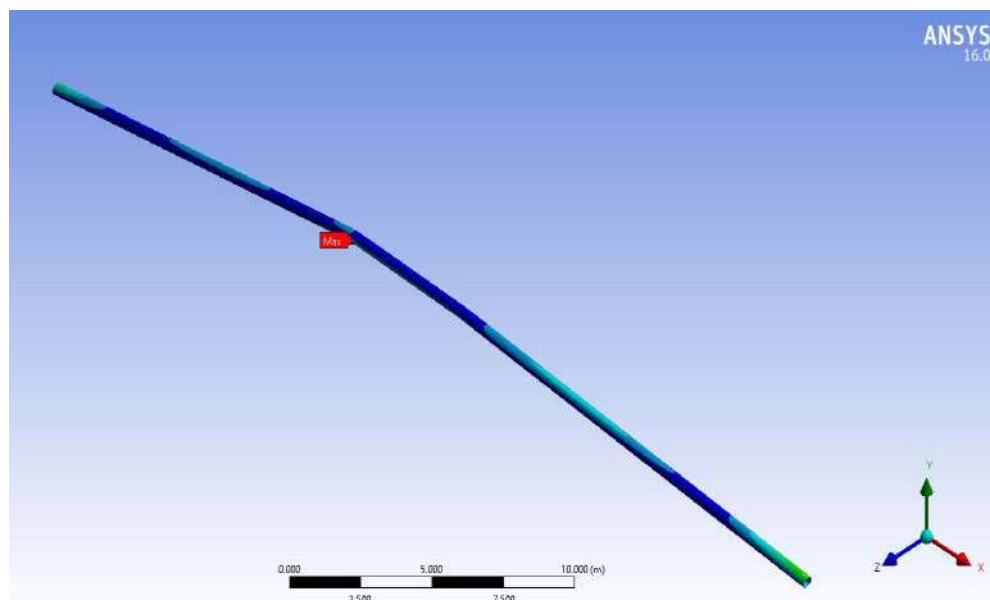
Setelah dilakukan permodelan menggunakan ANSYS 16.0 pada kondisi kegagalan *upheaval buckling*, didapatkan nilai vektor *strain* dan *ekuivalent elastic strain* pada kondisi *upheaval buckling*.

Pada arah X, titik-titik yang mengalami kegagalan *upheaval buckling* memiliki nilai *strain* minimal sebesar 0,00050105 m per meter dan maksimal

sebesar 0,0055592 m per meter. Selain itu, pada arah Y, nilai *strain* minimal sebesar 0,00017314 m per meter dan maksimal 0,0019548 m per meter. Pada komponen arah Y, *strain* memiliki arah negatif. Dikarenakan arah *strain* bertolak belakang dengan arah bidang Y. Pada arah Z, nilai *strain* minimal yang terjadi adalah 0,00013904 m per meter dan nilai maksimalnya sebesar 0,0016162. Nilai minimal dan maksimal memiliki arah yang bertolak belakang dengan bidang Z. Salah satu kriteria pipa mengalami kegagalan *buckling* atau tidak adalah nilai *yield strain*  $< 0,5\%$ . Nilai *equivalent elastic strain* pada permodelan pipa *buckling* adalah 0,5% sehingga pipa tersebut mengalami kegagalan *buckling* dan yeilding. Nilai *equivalent elastic strain* yang dihasilkan tidak melebihi ketentuan nilai *tensile strain* ASME B31.4 2012 yaitu 2%.

#### 4.11.6 Permodelan Setelah Mitigasi Buckling

Pada saat mitigasi *buckling*, dilakukan permodelan berupa variasi beban dan variasi jumlah *support* untuk melihat kondisi terbaik dalam melakukan mitigasi terhadap kegagalan *upheaval buckling*. Permodelan dilakukan dengan memvariasikan beban sebesar 1, 2, dan 3 ton serta jumlah pemasangan *support* sebanyak 1 *support*, 3 *support*, dan 5 *support*. Pemasangan *support* di letakkan pada puncak *buckling*, awal titik kenaikan *buckling*, dan antara puncak dengan titik kenaikan yang ditunjukkan pada gambar 4.19.



**Gambar 4.19** *Gambar pada saat setelah mitigasi*

Berikut hasil permodelan mitigasi *buckling* yang dirangkum pada Tabel 4.14

**Tabel 4.14 Hasil Permodelan Mitigasi Buckling**

Variasi Beban (ton)	Normal Strain (meter/meter)			Ekuivalent Elastic Strain	Maximal Tensile Strain	Keterangan
	X	Y	Z			
1 Support					2,0%	
1 Ton	(-) 0,25768%	(-) 0,0010035	0,06198%	0,51934%		Tidak melebihi
2 Ton	(-) 0,25777%	(-) 0,0010039	0,06200%	0,51942%		Tidak melebihi
3 Ton	(-) 0,25678%	(-) 0,0010043	0,06202%	0,51949%		Tidak melebihi
3 Support						
1 Ton	(-) 0,71838%	(-) 0,0031565	0,18141%	0,46989%		Tidak melebihi
2 Ton	(-) 0,71868%	(-) 0,0031576	0,18148%	0,47005%		Tidak melebihi
3 Ton	(-) 0,71897%	(-) 0,0031586	0,18156%	0,47021%		Tidak melebihi
5 Support						
1 Ton	0,31498%	(-) 0,19048%	(-) 0,10383%	0,35202%		Tidak melebihi
2 Ton	0,31494%	(-) 0,19037%	(-) 0,10838%	0,35214%		Tidak melebihi
3 Ton	0,31492%	(-) 19,4045%	(-) 0,10388%	0,35255%		Tidak melebihi

Setelah melakukan permodelan kondisi *buckling* menggunakan ANSYS 16.0 untuk mendapatkan nilai *strain*, permodelan selanjutnya adalah permodelan pada kondisi mitigasi dengan variasi pemasangan jumlah dan variasi pembebanan.

Pada variasi pemasangan 1 *fixed support* didapatkan beberapa hasil permodelan seperti ditunjukkan pada tabel 4.14. Pada variasi pembebanan 1 ton, nilai *strain* minimal pada arah X sebesar 0,00010253 m per meter dan maksimalnya sebesar 0,0025768. Selain itu, nilai *strain* minimal pada arah Y sebesar 0,000045147 m per meter dan nilai *strain* maksimalnya sebesar 0,0010035 m per meter dengan arah yang berbeda dengan arah bidang Y. Didapatkan juga nilai *strain* minimal pada arah bidang Z sebesar 0,0000532 m per meter dan nilai maksimalnya sebesar 0,0006197 m per meter. Nilai *ekuivalent elastic strain* minimal adalah 0,0000031021 m per meter dan maksimalnya adalah 0,0051934 m per meter. Pada variasi beban 2 ton dan 3 ton, nilai minimal dan maksimal *strain* pada titik-titik mitigasi tidak memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan.

Pada variasi pemasangan 3 *fixed support* didapatkan beberapa hasil permodelan seperti pada tabel 4.14. Pada pemasangan 3 *fixed support* variasi pembebanan 1 ton, nilai *strain* minimal pada arah X sebesar 0,00039027 m per meter dan maksimalnya sebesar 0,0071838. Selain itu, nilai *strain* minimal pada arah Y sebesar 0,00017973 m per meter dan nilai *strain* maksimalnya sebesar 0,0031565 m per meter dengan arah yang berbeda dengan arah bidang Y. Didapatkan juga nilai *strain* minimal pada arah bidang Z sebesar 0,00033223 m per meter dan nilai maksimalnya sebesar 0,0018141 m per meter. Nilai *ekivalent elastic strain* minimal adalah 0,000002247 m per meter dan maksimalnya adalah 0,0046989 m per meter. Pada variasi beban 2 ton dan 3 ton, nilai minimal dan maksimal *strain* pada titik-titik mitigasi tidak memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan.

Pada variasi pemasangan 5 *fixed support* didapatkan beberapa hasil permodelan. Pada variasi pembebanan 1 ton, nilai *strain* minimal pada X sebesar 0,000076317 m per meter dan maksimalnya sebesar 0,0031498. Selain itu, nilai *strain* minimal pada arah Y sebesar 0,000026123 m per meter dan nilai *strain* maksimalnya sebesar 0,0019048 m per meter dengan arah yang berbeda dengan arah bidang Y. Didapatkan juga nilai *strain* minimal pada arah bidang Z sebesar 0,000084024 m per meter dan nilai maksimalnya sebesar 0,10383 m per meter. Nilai *ekivalent elastic strain* minimal adalah 0,000019756 m per meter dan maksimalnya adalah 0,0035255 m per meter. Pada variasi beban 2 ton dan 3 ton, nilai minimal dan maksimal *strain* pada titik-titik mitigasi tidak memiliki perbedaan nilai yang cukup signifikan.

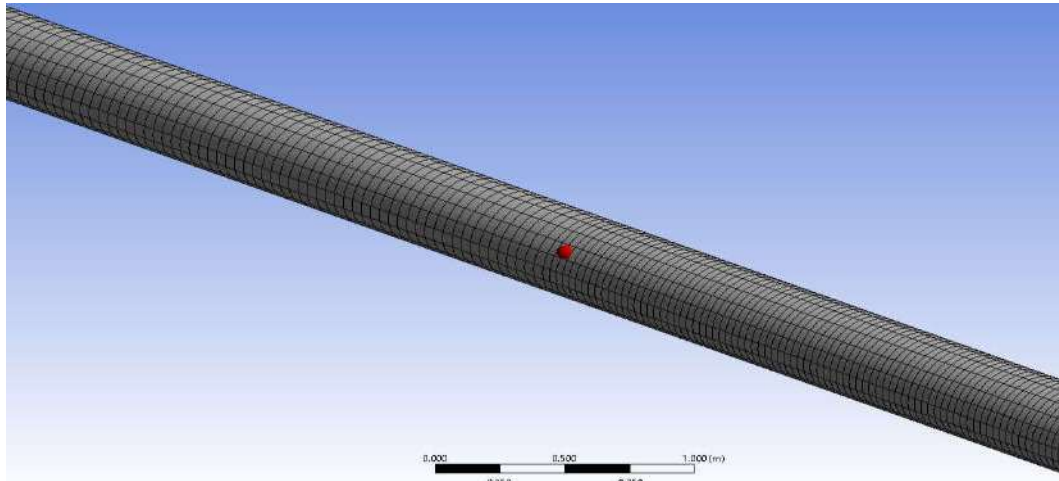
Pada ketiga variasi yang dilakukan, nilai *equivalent elastic strain* tidak melebihi nilai *tensile strain* ASME B31.4 2012 sebesar 2%. Hal ini menunjukkan bahwa pipa masih jauh dari keadaan *rupture*.

#### **4.12 Mesh Sensitivity**

Dalam melakukan analisa menggunakan software ANSYS, salah satu faktor utama yang mempengaruhi hasil permodelan adalah ukuran dari element atau nodes yang kita buat pada model. Untuk mendapatkan hasil dengan tingkat eror yang kecil, pada permodelan ANSYS dilakukan *mesh sensitivity* sebelum menghitung

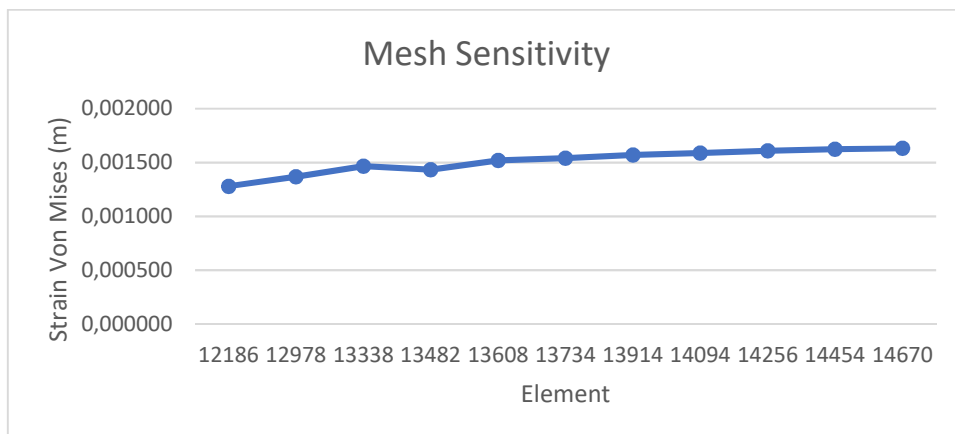


*solution* pada ANSYS. *Mesh sensitivity* dilakukan dengan membagi element pada pipa menjadi bagian-bagian yang lebih kecil hingga terjadi konvergensi hasil pada ANSYS yang ditunjukkan pada Gambar 4.20. Metode ini membutuhkan waktu yang cukup lama dikarenakan metode ini memerlukan perlakuan yang berulang untuk mendapatkan nilai konvergensi hasil.



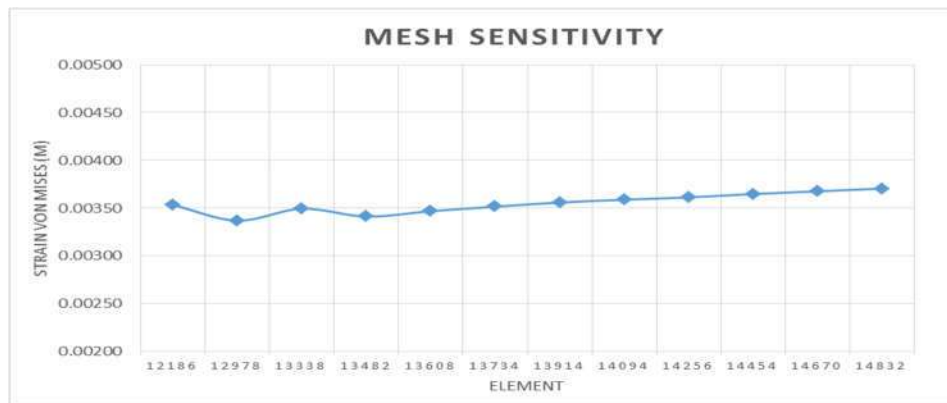
**Gambar 4.20 Mesh Sensitivity**

Pada penelitian ini, metode *mesh sensitivity* dilakukan pada kedua model yang akan dianalisis yaitu pada saat *buckling* dan saat mitigasi. Nilai yang muncul dijadikan acuan validasi tingkat penerimaan hasil simulasi terhadap nilai eror yang dihasilkan dari simulasi. Pada tahap pertama yaitu melakukan validasi hasil model *strain* saat terjadinya *buckling*. Ukuran default yang digunakan adalah 5 cm dan selanjutnya akan diperkecil hingga terjadinya konvergensi hasil perhitungan *strain*. Berikut ini hasil *mesh sensitivity* pada model saat *buckling* yang ditunjukkan pada gambar 4.21 dibawah ini.



**Gambar 4.21 Hasil *mesh sensitivity* pada saat *buckling***

Berdasarkan hasil diatas, nilai konvergensi hasil terjadi ketika jumlah element minimal adalah 14094 atau setara dengan bentuk *mesh* nodes sebesar 4 cm. Sehingga ukuran mesh yang digunakan pada permodelan ANSYS kondisi *buckling* minimal memiliki nilai ukuran mesh sebesar 4 cm. Selanjutnya, perlakuan *mesh sensitivity* dilakukan pada permodelan mitigasi *buckling*. Langkah-langkah yang dilakukan tidak jauh berbeda dengan perlakuan sebelumnya. Berikut ini hasil *mesh sensitivity* pada kondisi mitigasi *buckling* yang ditunjukkan pada Gambar 4.22.



**Gambar 4.22 Hasil *mesh sensitivity* pada saat mitigasi *buckling***

Berdasarkan hasil diatas, nilai konvergensi hasil terjadi ketika jumlah element minimal adalah 14094 atau setara dengan bentuk *mesh* nodes sebesar 4 cm. Sehingga ukuran mesh yang digunakan pada permodelan ANSYS kondisi mitigasi *buckling* minimal memiliki nilai ukuran mesh sebesar 4 cm.

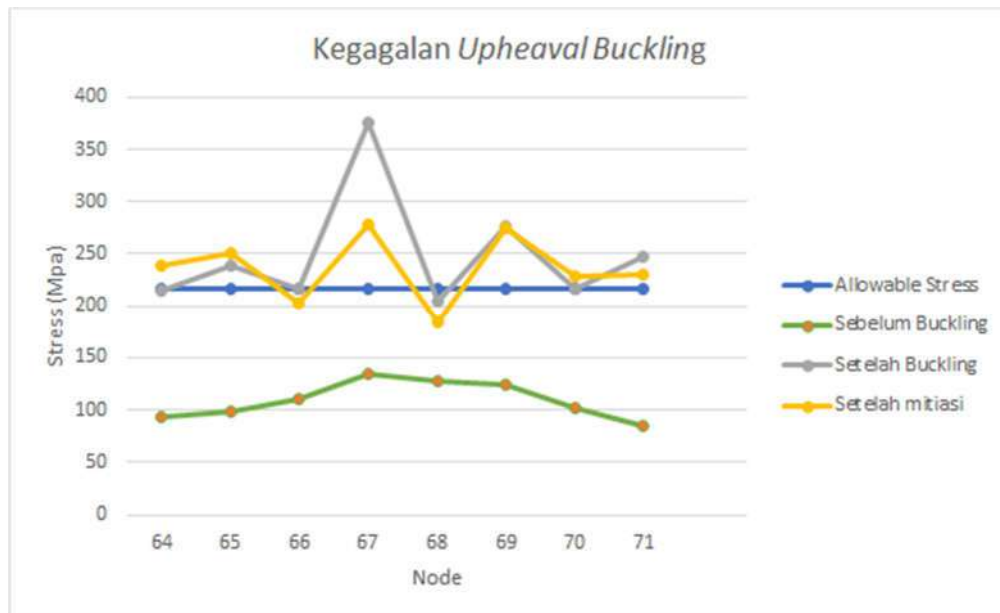
Nilai *solution – strain* yang dihasilkan oleh ANSYS pada permodelan yang dilakukan terutama pada kedua model tidak memiliki eror yang besar sehingga hasil kedua permodelan tersebut nantinya dapat diterima sebagai hasil valid permodelan.

#### **4.13 Analisa Efektifitas Mitigasi**

Analisa efektifitas mitigasi akan ditinjau berdasarkan nilai *stress* dan *strain* yang terjadi pada pipa penyalur setelah dilakukan upaya mitigasi berupa penambahan dan beban *downforce*. Permodelan dilakukan melalui simulasi software AUTOPIPE untuk mendapatkan nilai *stress* pada titik-titik terjadinya *upheaval buckling* serta simulasi software ANSYS 16.0 untuk mendapatkan nilai *strain* pada titik-titik terjadinya *upheaval buckling*.

##### **4.13.1 Analisa Teknis Efektifitas Mitigasi Tegangan**

Analisa teknis efektifitas ditinjau dari paramater *stress pipeline* yang terjadi pada kondisi sebelum buckling, sesudah buckling dan setelah mitigasi dilakukan dengan melakukan simulasi menggunakan software AUTOPIPE ditunjukkan pada Gambar 4.23. Pada hasil analisa kondisi sebelum *buckling*, daerah yang diindikasi *upheaval buckling* berada pada titik 64-71 sepanjang 37,5 m tidak mengalami *overstress* sedangkan analisa kondisi sesudah *buckling* didapatkan beberapa titik yang mengalami *overstress* yaitu 65,66,67,69,70,71 dengan maksimal *overstress* pada titik 67 sebesar 375,16. Hal ini disebabkan karena titik 67 merupakan titik puncak kegagalan *upheaval buckling* sehingga *stress* terkonsentrasi pada titik ini dan berakibat pada tidak terdistribusinya *stress* dengan baik. Terjadinya *upheaval buckling* ini disebabkan karena kenaikan temperatur operasi (*expansion termal*) dan *imperfection height*.

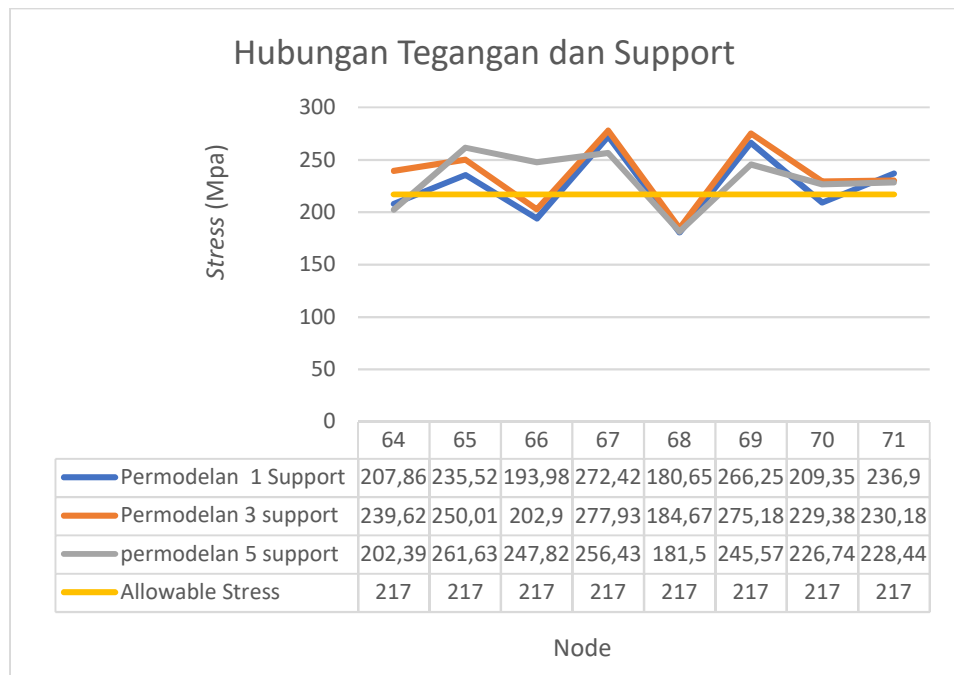


**Gambar 4.23** Grafik permodelan sebelum, sesudah *buckling* dan sesudah *mitigasi*

#### 4.13.1.1 Variasi Pemasangan 1, 3, dan 5 dengan Beban 2 Ton

Setelah melakukan permodelan pada kondisi mitigasi didapatkan bahwa mitigasi yang dilakukan oleh perusahaan (memasang 3 *support* dan menimbun 2 m tanah serta menambah *downforce* 2 ton) telah menurunkan *stress* pada titik titik *upheaval buckling* tetapi beberapa titik masih mengalami *overstress* yaitu titik 64,65,67,69,70,71. Untuk mengetahui pengaruh penambahan , maka simulasi dilakukan dengan memvariasikan

jumlah. Berikut hasil variasi *fixed suport* yang ditunjukkan pada Gambar 4.24



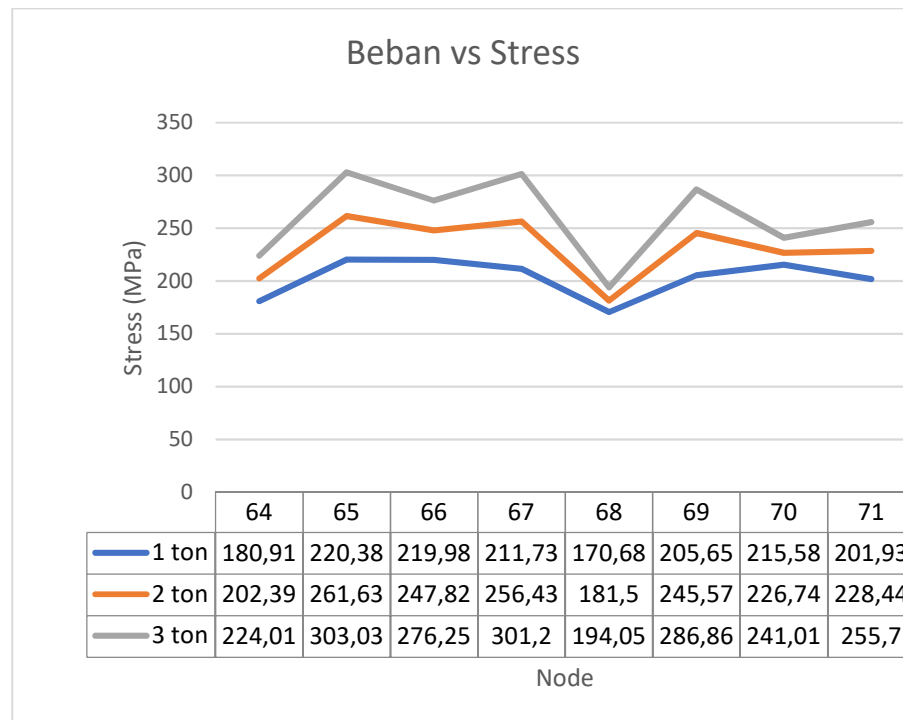
**Gambar 4.24 Hubungan *Stress* dan *Support***

Sedangkan pada mitigasi variasi jumlah *support* didapatkan bahwa penurunan *stress* terbesar pada pemasangan 5 *support* 2 ton sehingga hubungan antara penurunan *stress* dan *support* adalah berbanding lurus. Artinya, penurunan nilai *stress* dapat dilakukan dengan melakukan penambahan jumlah *support*. Semakin banyak jumlah *support* yang dipasang maka penurunan *stress* lebih besar. Hal ini dikarenakan *support* menahan pipa sehingga tegangan terdistribusi ke titik lain dan tidak terkonsentrasi pada satu titik puncak yang dapat membuat *overstress* berlebihan.

#### **4.13.1.2 Variasi Pembebanan 1T dan 3T pada Variasi Pemasangan variasi**

Pada pembahasan sebelumnya, *downforce* digunakan untuk menahan gaya kompresif keatas pipa agar pipa dapat tertahan sehingga pipa tidak mengalami penambahan tinggi kegagalan *upheaval*. Permodelan penambahan beban yang divariasikan yaitu 1 ton, 2 ton, dan 3 ton. Variasi penambahan beban ditujukan untuk mengetahui hubungan penambahan beban *downforce* terhadap penurunan *stress* pada pipa. Permodelan

dilakukan dengan memberikan variasi beban pada masing masing jumlah *support*.



**Gambar 4.25 Hubungan Stress dan Beban**

Berdasarkan hasil permodelan yang telah dirangkum pada Gambar 4.25, permodelan menggunakan 5 *support* 1 ton menghasilkan penurunan *stress* terbesar dibandingkan variasi yang lainnya. Sehingga, hubungan antara beban dan *stress* adalah terbalik. Artinya, semakin kecil beban yang diberikan kepada pipa, maka *stress* yang dihasilkan juga kecil. Hal ini disebabkan beban membuat pipa lebih tegang (kompresif) sehingga pipa semakin tegang dan *stress* yang diterima pipa dari beban luar semakin besar.

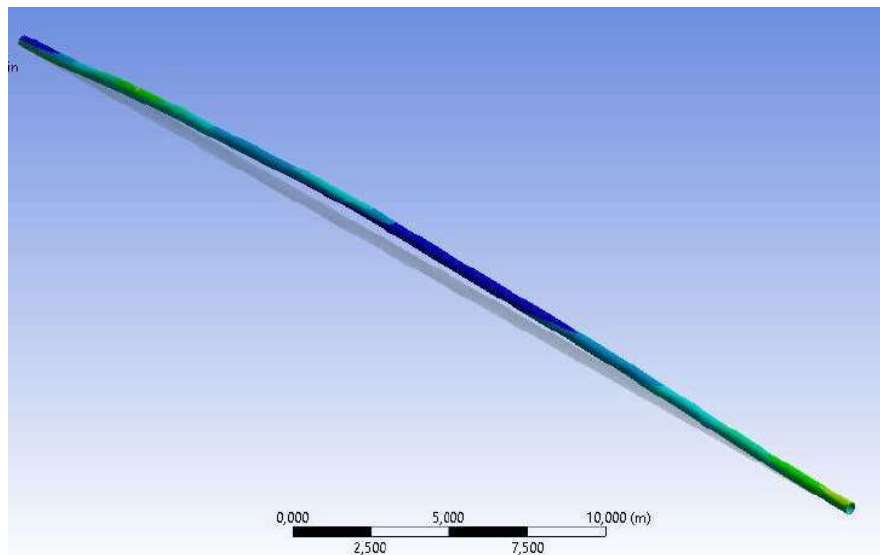
#### **4.13.2 Analisa Teknis Efektifitas Mitigasi Regangan**

Analisa efektifitas mitigasi parameter regangan dianalisa secara teknis dengan simulasi software ANSYS 16.0. Simulasi dilakukan dengan membagi permodelan menjadi 2 bagian yaitu permodelan pada saat *buckling* dan permodelan mitigasi. Simulasi pertama yaitu memodelkan pipa keadaan sebelum *buckling* dengan memasukkan variabel *boundary condition* sehingga didapatkan keadaan yang paling mendekati kondisi *buckling*. Permodelan kedua yaitu permodelan setelah mitigasi *buckling* dengan variasi penambahan jumlah *fixed support* dan beban *downforce*. Variasi penambahan yaitu 1, 3, dan 5 *fixed support* dengan

variasi penambahan beban *downforce* yaitu 1, 2, dan 3 ton. Pemasangan di letakkan pada node yang mengalami kegagalan *upheaval buckling* yaitu node 64 – 71. Permodelan yang dianalisa merupakan pengaruh penambahan jumlah dan beban *downforce*.

#### 4.13.2.1 Keadaan Regangan Saat *Buckling*

Berdasarkan tabel 4.13 didapatkan bahwa nilai *ekuivalent strain* maksimal 0,00536 m per meter. Pada node 64 – 71 yang memiliki panjang sebesar 37,5 menyebabkan nilai *strain* total pada area *buckling* adalah 0,2101 meter. Nilai ini merupakan akumulasi *strain* pada 3 arah yaitu arah x, y, dan z. Dimana nilai di dominasi pada arah X atau arah horizontal pipa.



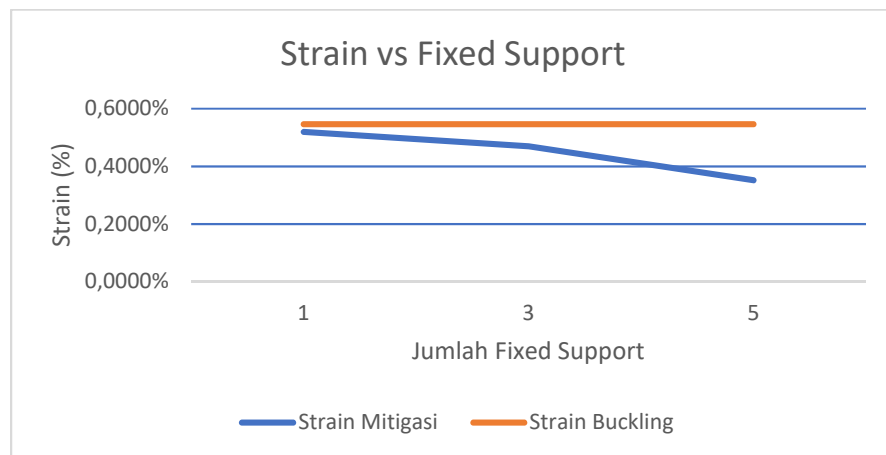
Gambar 4.26 hasil permodelan *buckling* ANSYS

Berdasarkan Gambar 4.26 yang merupakan hasil permodelan ANSYS, persebaran nilai *strain* pada pipa yang memiliki nilai maksimal berada pada ujung pipa. Hal ini disebabkan karena dalam permodelan ANSYS, ujung-ujung pipa dianggap sebagai pintu awal tekanan dalam pipa sehingga besaran tekanan di daerah tersebut lebih besar besar dibandingkan dengan yang lain.

#### 4.13.2.2 Variasi Penambahan Jumlah *Fixed Support* dan Beban *Downforce*

Permodelan kedua pada parameter *strain* adalah melakukan variasi penambahan jumlah dan beban *downforce* untuk mengetahui hubungan dua variabel tersebut dalam mempengaruhi nilai *strain* pipa penyalur.

Digunakan untuk menyangga beban pipa dari arah bawah sehingga beban yang dialami pipa dapat terdistribusi merata pada sepanjang jalur pipa sehingga tidak adanya daerah yang mengalami keadaan *overstress*. Keadaan tersebut akan menyebabkan penurunan nilai *strain* pada saat dilakukan penambahan pada titik-titik *buckling*. Model yang akan disimulasikan adalah perbandingan model mitigasi perusahaan (3 *fixed support* dengan 2 ton beban) dengan variasi jumlah *fixed support* (1 dan 5) yang kemudian akan dibandingkan dengan hasil *strain* pada *buckling*.



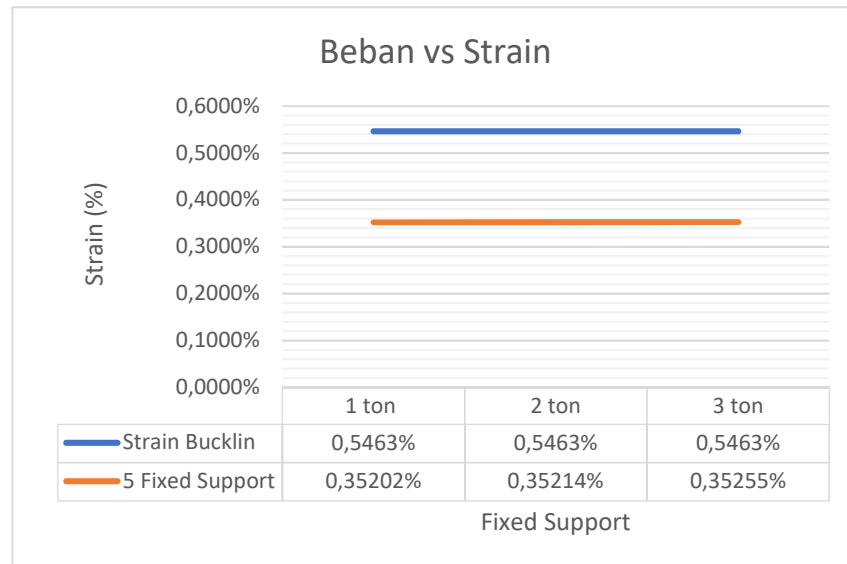
**Gambar 4.27 Hasil permodelan strain dengan variasi jumlah support**

Berdasarkan gambar 4.27 diatas, pemasangan *support* mampu menurunkan nilai *ekuivalent strain von mises* menjadi dibawah nilai *buckling*. Penambahan mampu mengurangi besaran nilai *strain* seperti pada gambar 4.20 yang ditunjukkan dengan nilai kemiringan negatif. Sehingga hubungan antara penambahan dengan penurunan nilai *strain* adalah berbanding lurus. Penambahan mampu mengurangi nilai *strain* yang terjadi pada pipa.

Permodelan selanjutnya adalah variasi beban *downforce* terhadap perubahan nilai *strain*. Pada permodelan ini, beban yang divariasikan adalah beban 1 ton dan 3 ton pada jumlah *fixed support* yang berbeda.

Berdasarkan Gambar 4.28, hasil diatas menunjukkan bahwa penggunaan mampu membuat *strain* pada titik-titik *buckling* mengalami penurunan di bawah nilai *strain buckling*. Nilai antara pemasangan tiap *support* nya memiliki nilai berimpit seperti ditunjukkan pada gambar 4.21 dimana nilai *strain* pada pembebanan 1 ton dan 3 ton tumpang tindih. Ini

menunjukkan bahwa perbedaan keduanya tidak terlalu signifikan akan tetapi pembebanan 1 ton lebih baik. Berdasarkan gambar 4.21, hubungan antara penambahan beban *downforce* dengan penurunan nilai *strain* adalah berbanding terbalik. Semakin kecil penambahan beban *downforce*, maka penurunan *strain* semakin besar.



**Gambar 4.28 Hasil permodelan strain dengan variasi jumlah beban**

Dilihat dari analisa teknis tegangan dan regangan, efektivitas dari mitigasi yang telah dilakukan sudah tepat akan tetapi tidak terlalu efektif, karena nilai tegangan untuk semua titik-titik *buckling* dengan *downforce* sebesar 2 ton masih mengalami kondisi *overstress*. Nilai regangan pada pemodelan software ANSYS sesudah mitigasi *upheaval buckling* yang dilakukan oleh perusahaan mengalami penurunan yang tidak signifikan sehingga mitigasi yang dilakukan kurang efektif bila dilihat dari parameter regangan. Berdasarkan nilai tegangan dan regangan, pemasangan 5 dengan beban 1 ton menghasilkan nilai yang lebih baik dibandingkan dengan hasil mitigasi yang dilakukan perusahaan.



*(halaman ini sengaja dikosongkan)*

## BAB 5

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil studi kasus dan analisis, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil perhitungan dan permodelan untuk mencari nilai tegangan *pipeline* 16"-HL-4064-3B pada area *block valve* 2 – *block valve* 3 adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai tegangan pada kondisi sebelum *buckling* tidak menghasilkan kondisi *overstress* pada semua titik (node).
  - b. Nilai tegangan pada kondisi sesudah *buckling* adalah menghasilkan beberapa titik (node) mengalami kondisi *overstress* yaitu 65, 66, 67, 69, 70, 71 dengan nilai *stress* terbesar pada puncak *buckling* (titik 67) sebesar 375,16 Mpa. Nilai ini melebihi *allowable stress* (217 Mpa) sehingga pipa mengalami kegagalan *buckling*.
  - c. Nilai tegangan pada kondisi sesudah mitigasi *buckling* 3 *fixed support* 2 ton menghasilkan beberapa titik (node) masih mengalami kondisi *overstress* yaitu 64, 65, 67, 69, 70, 71 dengan nilai *stress* terbesar pada puncak *buckling* (titik 67) sebesar 277,93 Mpa. Nilai ini masih melebihi *allowable stress* (217 Mpa).
2. Hasil permodelan untuk mencari nilai regangan *pipeline* 16"-HL-4064-3B pada area *block valve* 2 – *block valve* 3 adalah sebagai berikut:
  - a. Nilai regangan kondisi sesudah *buckling* pada titik-titik *buckling* memiliki nilai 0,536%. Nilai ini melebihi nilai *yield strain* (<0,5%) sehingga pipa mengalami *yielding* dan kegagalan *upheaval buckling*.
  - b. Nilai regangan kondisi sesudah mitigasi 3 *fixed support* dan *downforce* 2 ton pada titik-titik *buckling* memiliki nilai 0,47%. Berdasarkan nilai *tensile strain* (<2%), pipa yang *buckling* belum memasuki keadaan *rupture*.
3. Mitigasi *upheaval buckling* berupa pemasangan 3 *fixed support* 2 ton sudah tepat menurut DNV RF 110, akan tetapi kurang efektif karena

nilai tegangan masih dalam kondisi *overstress* dan pipa masih mengalami regangan.

4. Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan pada penelitian ini, Direkomendasikan untuk menggunakan pemasangan 5 *fixed support* dengan beban *downforce* 1 ton.

## 5.2 Saran

Adapun saran yang dapat diberikan berdasarkan pengerjaan tugas akhir ini adalah

1. Mitigasi *upheaval buckling* seharusnya menggunakan mitigasi lain yang lebih efektif untuk menghilangkan titik buckling seperti pemotongan dan mengganti bagian area upheaval buckling
2. Peneliti selanjutnya diharapkan mampu untuk menganalisa ekeftivitas mitigasi *upheaval buckling* dengan menggunakan metode lain.
3. Peneliti selanjutnya diharapkan dapat menganalisa lebih lanjut terhadap local buckling dan fatigue

## DAFTAR PUSTAKA

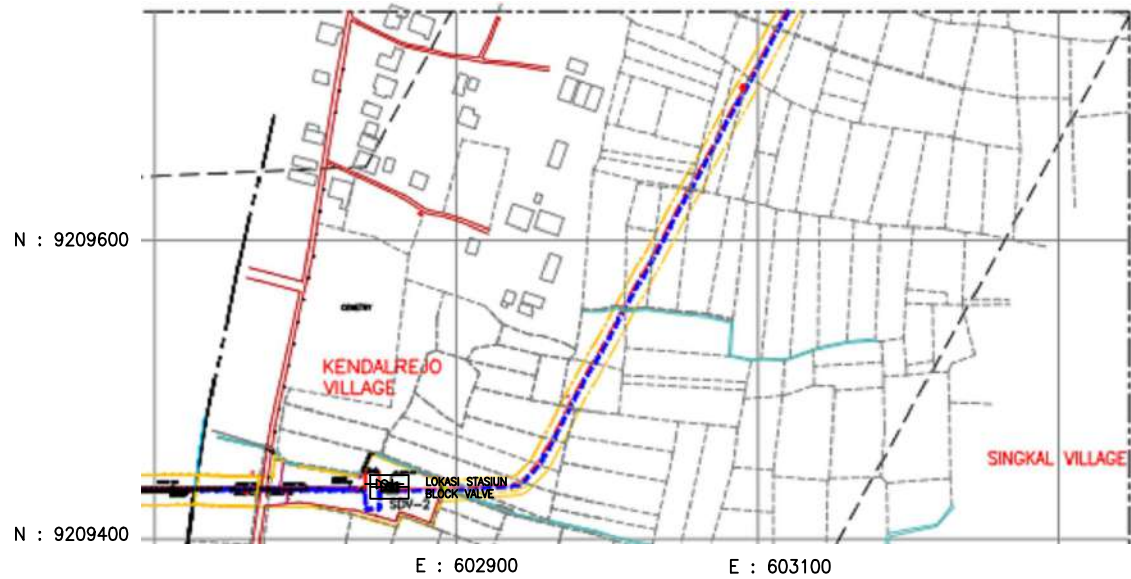
- 5L, A. (2005). *Specification for Line Pipe*. Washington, DC USA: API Publishing Services.
- Antaki, G. A. (2003). *Piping and Pipeline Engineering*. Aiken, South Carolina, USA: Marcel Dekker, Inc.
- B31.1. (2008). *Power Piping Non - Mandatory Appendix VII*. New York, USA: ASME B31 Commite.
- B31.4, A. (2012). *Pipeline Transportation Systems for Liquids and Shurries*. New York: ASME B31 Commite.
- Cheuk, C.Y., Take, W.A., Bolton, M.D., Oliveira, J., (2007). Soil restraint on buckling oil and gas pipelines buried in lumpy clay fill. *Eng. Struct.* 29 (6), 973–982.
- Engineer, C. (1985-1998). *Piping Stress Analysis (Seminar Notes)*. Houston, Texas: COADE Inc.
- Eiksund, G., Langø, H., Øiseth, E., (2013). Full-scale test of uplift resistance of trenched pipes. *Int. J. Offshore Polar Eng.* 23 (4), 298–306.
- Harahap, Depita. (2007). *Analisa Kasus Upheaval Buckling Pada Onshore Pipeline*. Tesis Master Fakultas Teknik Pertambangan dan Perminyakan, ITB, Bandung.
- Hariono., Handayanu., & Hadiwidodo, Y. S. (2014). Analisa Pemasangan Loop Ekspansi Akibat Terjadinya *Upheaval Buckling* pada *Onshore Pipeline*, 3(2), G154-159
- Isaac, Obele Ifenna. (2013). *Lateral Buckling and Axial Walking of Surface Laid Subsea Pipeline*. Offshore Technology: Stavanger.
- Ju, G.T., Kyriakides, S. (1998). Thermal buckling of offshore pipelines. *Offshore Mechanics and Arctic Engineering* 1998, 110:355–64.
- Maltby, T.C., Calladine, C.R., (1995). An investigation into upheaval buckling of buried pipelines 2: theory and analysis of experimental observations. *Int. J. Mech. Sci.* 37 (9), 965–983.
- Martin, C.M., White, D.J., (2012). Limit analysis of the undrained bearing capacity of offshore pipelines. *Geotechnique* 62 (9), 847–863.
- Ng, C.W.W., Springman, S.M., (1994). Uplift resistance of buried pipelines in granular materials. *Centrifuge* 94, 753–758.

- Schaminee, P.E.L., Zorn, N.F., Schotman, G.J.M., (1990). Soil response for pipeline upheaval buckling analyses: full scale laboratory tests and modelling. In: Proceedings of the 22nd Offshore Technology Conference, Houston, USA. pp. 563–572.
- Tua, Pison Tulus. (2007). Penilaian Resiko Terhadap Pipa Bawah Laut Dengan Sistem Skoring. Skripsi Sarjana Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan, ITB, Bandung.
- Thusyanthan, N. I., Arasu, S., Bolton, M.D. 2008. Upheaval buckling resistance of pipelines buried in clayey backfill. International Society of Offshore and Polar Engineers (ISOPE) Conference, Retrieved February 11, 2018, from [http://www-civ.eng.cam.ac.uk/geotech\\_new/people/bolton/mdb\\_pub/190.pdf](http://www-civ.eng.cam.ac.uk/geotech_new/people/bolton/mdb_pub/190.pdf)
- Trautmann, C.H., O'Rourke, T.D., Kulhawy, F.H., (1985). Uplift force-displacement response of buried pipe. J. Geotech. Eng. Asce 111 (9), 1061–1076.
- Rahman, F. F., Wardhana, W., & Hadiwidodo, Y. S. (2012). Analisa Penyebab Terjadinya Upheaval buckling pada Pipeline 16 " dan Corrective action, 1(1), 1–6.
- Veritas Offshore Technology and Services A/S. (1981). DNV 1981 *Rules for Submarine Pipelines Systems*. Norway: DNV Publisher.
- Veritas Offshore Technology and Services A/S. (2002). DNV RP F110 *Global Buckling of Submarine Pipelines*. Norway: DNV Publisher.
- Wang, J., Haigh, S.K., Thusyanthan, I., (2009). Uplift resistance of buried pipelines in blocky clay backfill. In: Proceedings of the 19th International Offshore and Polar Engineering Conference, Osaka.
- Yunita, Cut. (2012). Studi Parameter Pipa Dalam Tanah Terlikuifaksi. Skripsi Sarjana Fakultas Teknik, Universitas Indonesia, Depok.

## **LAMPIRAN**

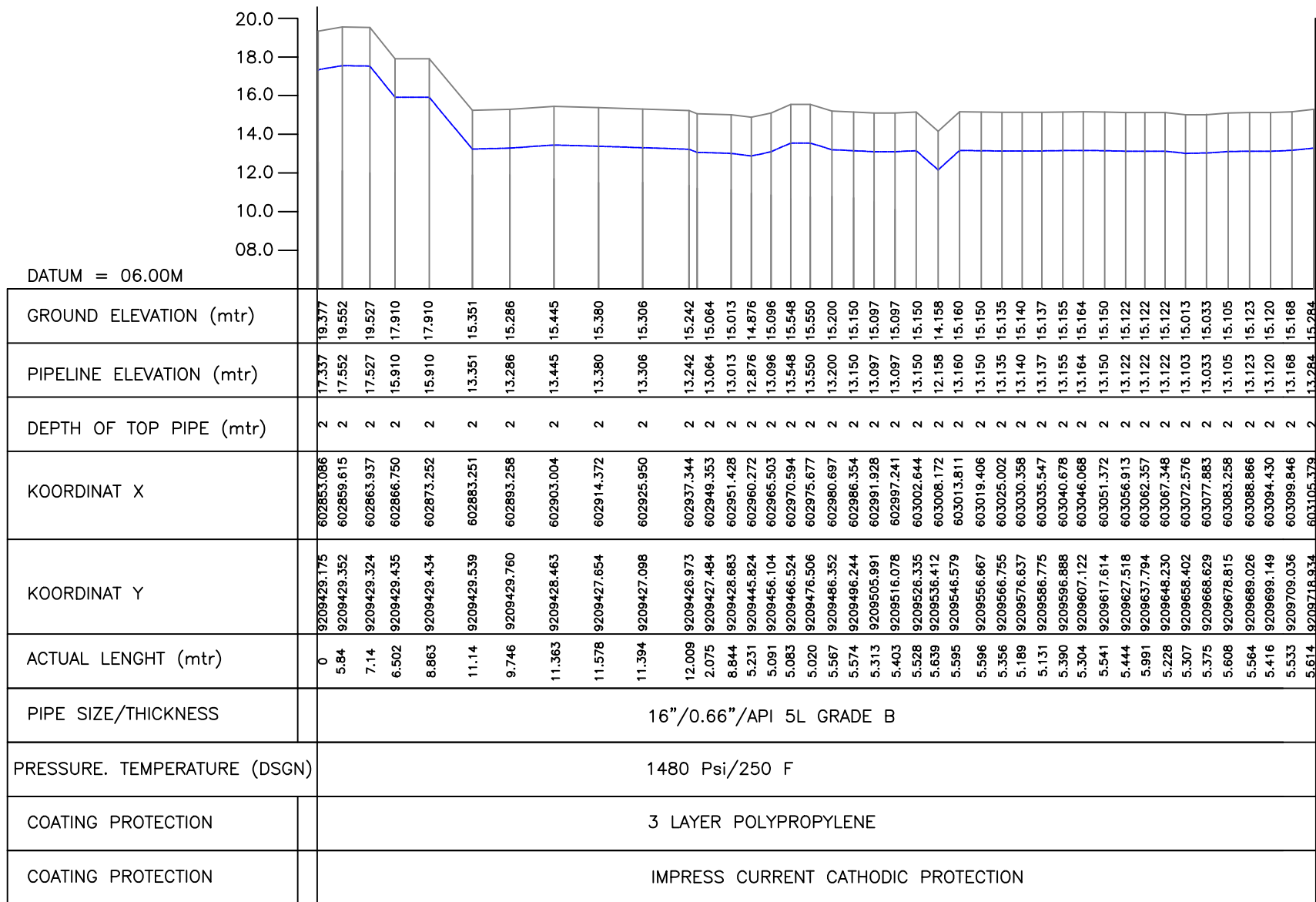


AS-BUILT



PROFIL MEMANJANG VERTIKAL

SKALA MENDATAR 1 : 1000  
SKALA TEGAK 1 : 200



CATATAN

LEGENDA

	JALAN ASPAL/DESA		JALUR PIPA 16"
	JALAN KERETA API		GARIS IMPIT
	SALURAN SUNGAI KECIL		GORONG-GORONG
	SUNGAI		PIPA CASING
	BATAS R.O.W.		GARIS KONTUR
	GARIS TENGAH R.O.W		JEMBATAN
	JALUR PIPA MINYAK 10" EXISTING		
	TIMBUN/FILL		
	POTONG/CUT		
	PEMUKIMAN		
	RAWA		
	LAUT		
	TAMBAK		
	SAWAH		
	KEBUN KELAPA		
	SEMAK		
	LADANG		
	HUTAN JATI		
	PERKEBUNAN		
	FASILITAS MINYAK/GAS		
	MAINHOLE		
	TIANG LISTRIK		
	TIANG TELEPON		
	DAMBA		
	AS JLN		

REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRN	CHK	ENG
A	04/01/10	ISSUED FOR APPROVAL	MD	SR	AND
A	30/11/09	ISSUED FOR REVIEW	MD	SR	AND

JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA EAST JAVA - PETROCHINA  
SUKOWATI FIELD

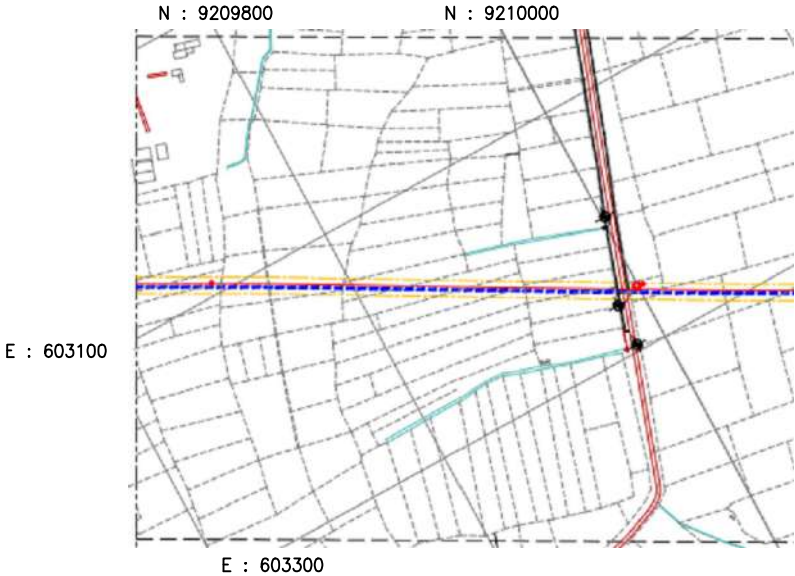
NAMA PROYEK : PIPELINE 16" - HL - 4064 - 3B  
SUKOWATI A - CPA MUDI

JUDUL GAMBAR : ROUTE ALIGNMENT SHEET  
16" SUKOWATI - CPA PIPELINE  
602850.00 - 603100.00

SKALA	NO. PROYEK	NOMOR GAMBAR	REV.
H 1:1000 V 1: 200		SUK-45-4205	B

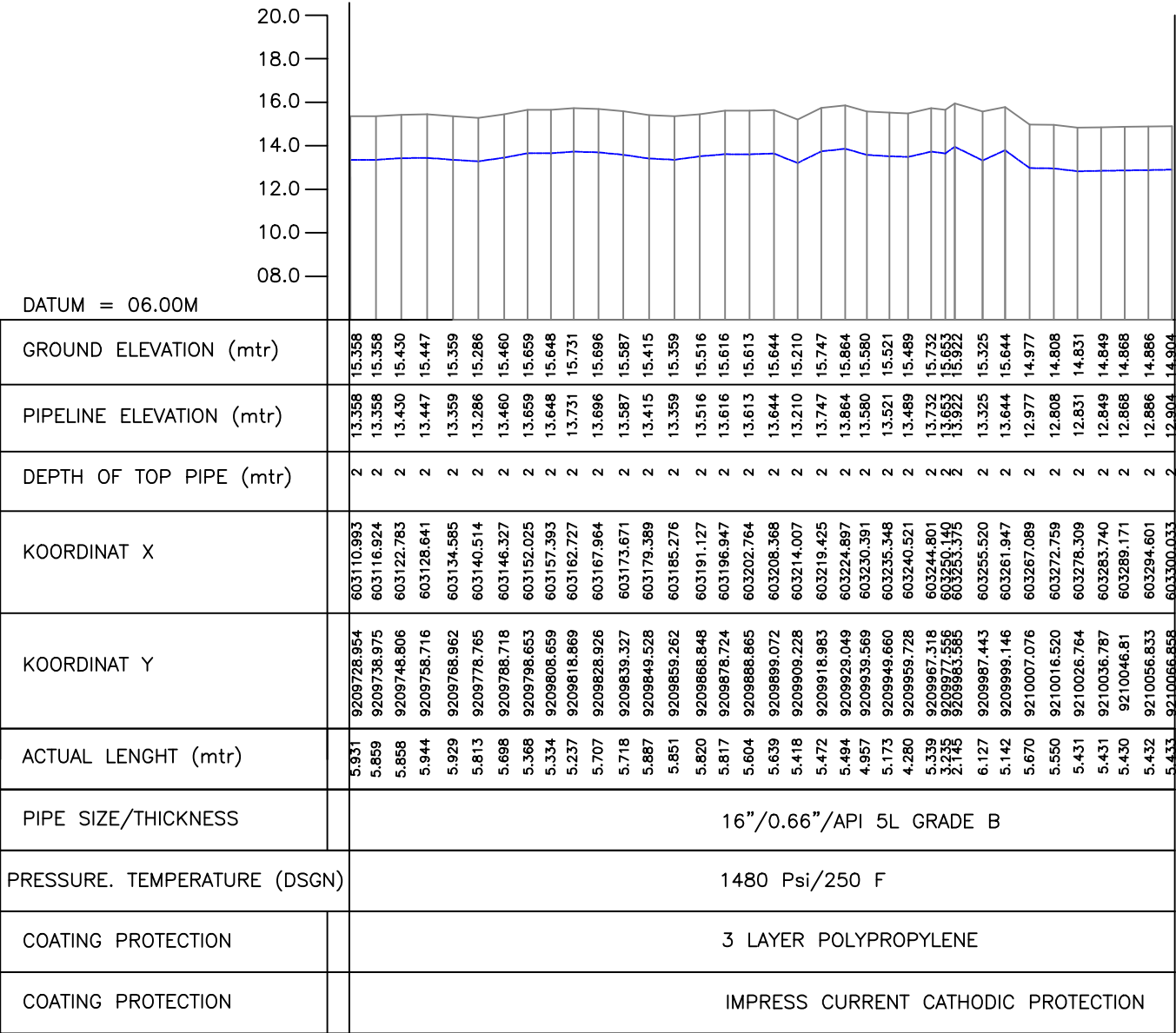


AS-BUILT



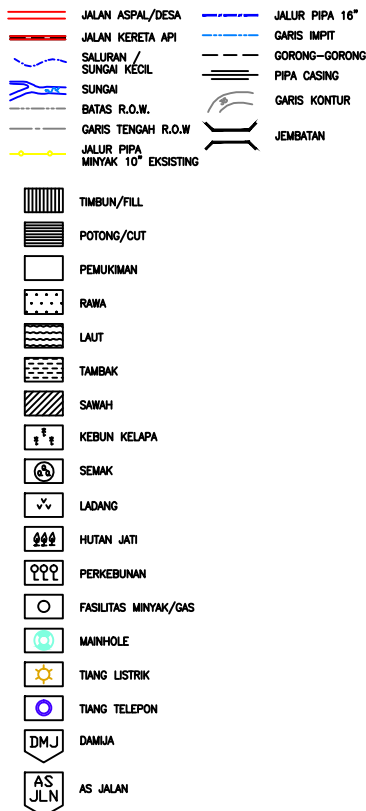
### PROFIL MEMANJANG VERTIKAL

SKALA MENDATAR 1 : 1000  
SKALA TEGAK 1 : 200





# C A T A N

## LEGENDA




B	04/01/10	ISSUED FOR APPROVAL	MD	SR	AND	
A	30/11/09	ISSUED FOR REVIEW	MD	SR	AND	
REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	DWN	CHK	ENG	

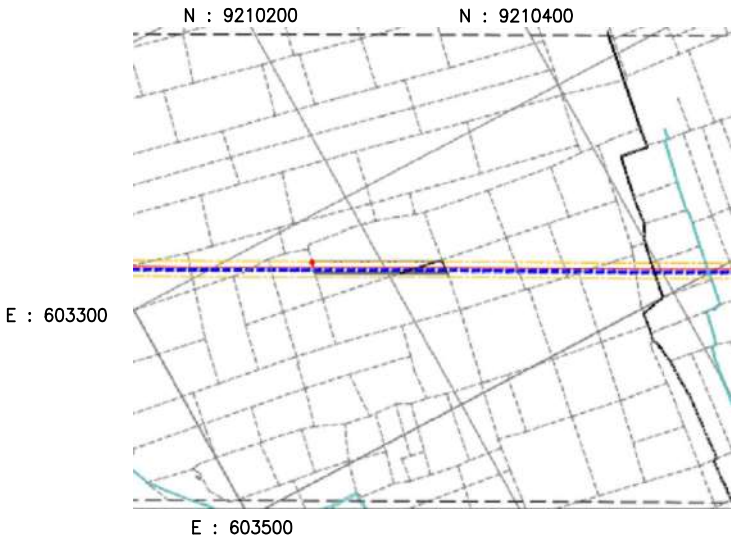
JOINT OPERATING BODY  
 PERTAMINA EAST JAVA – PETROCHINA  
 SUKOWATI FIELD

NAMA PROYEK : PIPELINE 16" - HL - 4064 - 3B  
SUKOWATI A - CPA MUDI

JUDUL GAMBAR :  
ROUTE ALIGNMENT SHEET  
16" SUKOWATI - CPA PIPELINE  
603100.00 - 603300.00

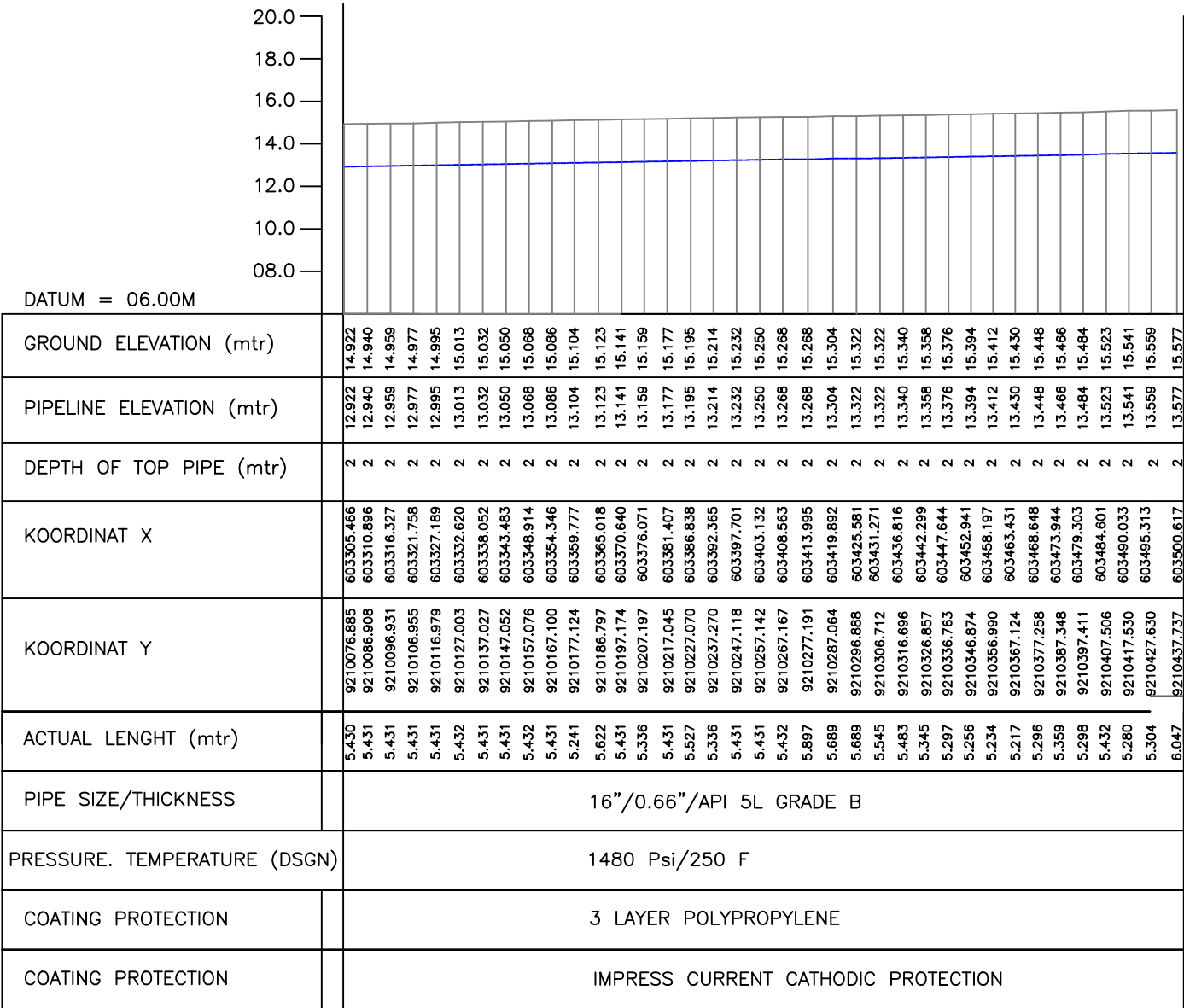
SKALA	NO. PROYEK	NOMOR GAMBAR	REV
H 1:1000 V 1: 200		SUK-45-4206	

AS-BUILT
----------



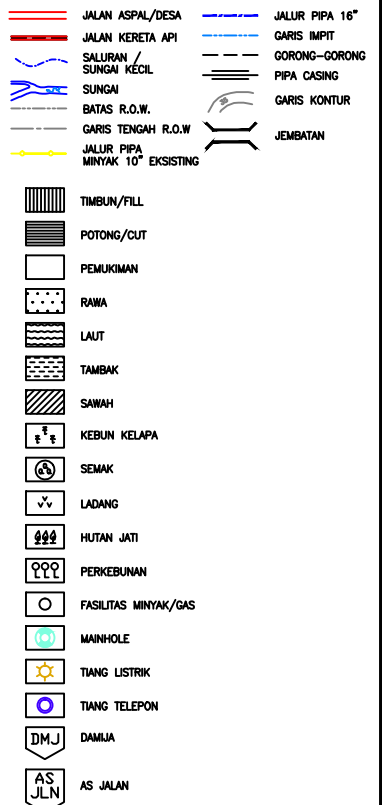
## PROFIL MEMANJANG VERTIKAL



SKALA MENDATAR 1 : 1000  
SKALA TEGAK 1 : 200



**C A T A T A N**

## LEGENDA




	04/01/10	ISSUED FOR APPROVAL	MD	SR	AND
	30/11/09	ISSUED FOR REVIEW	MD	SR	AND
REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRN	CHK	ENG

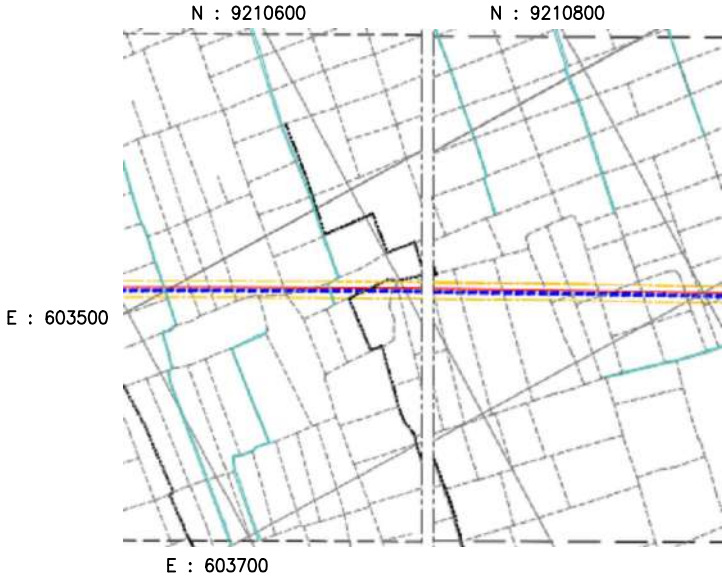
JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA EAST JAVA – PETROCHINA  
SIKOWATI FIELD

NAMA PROYEK : PIPELINE 16" - HL - 4064 - 3B  
SUKOWATI A - CPA MUDI

JUDUL GAMBAR :  
ROUTE ALIGNMENT SHEET  
16" SUKOWATI - CPA PIPELINE  
603300.00 - 603500.00

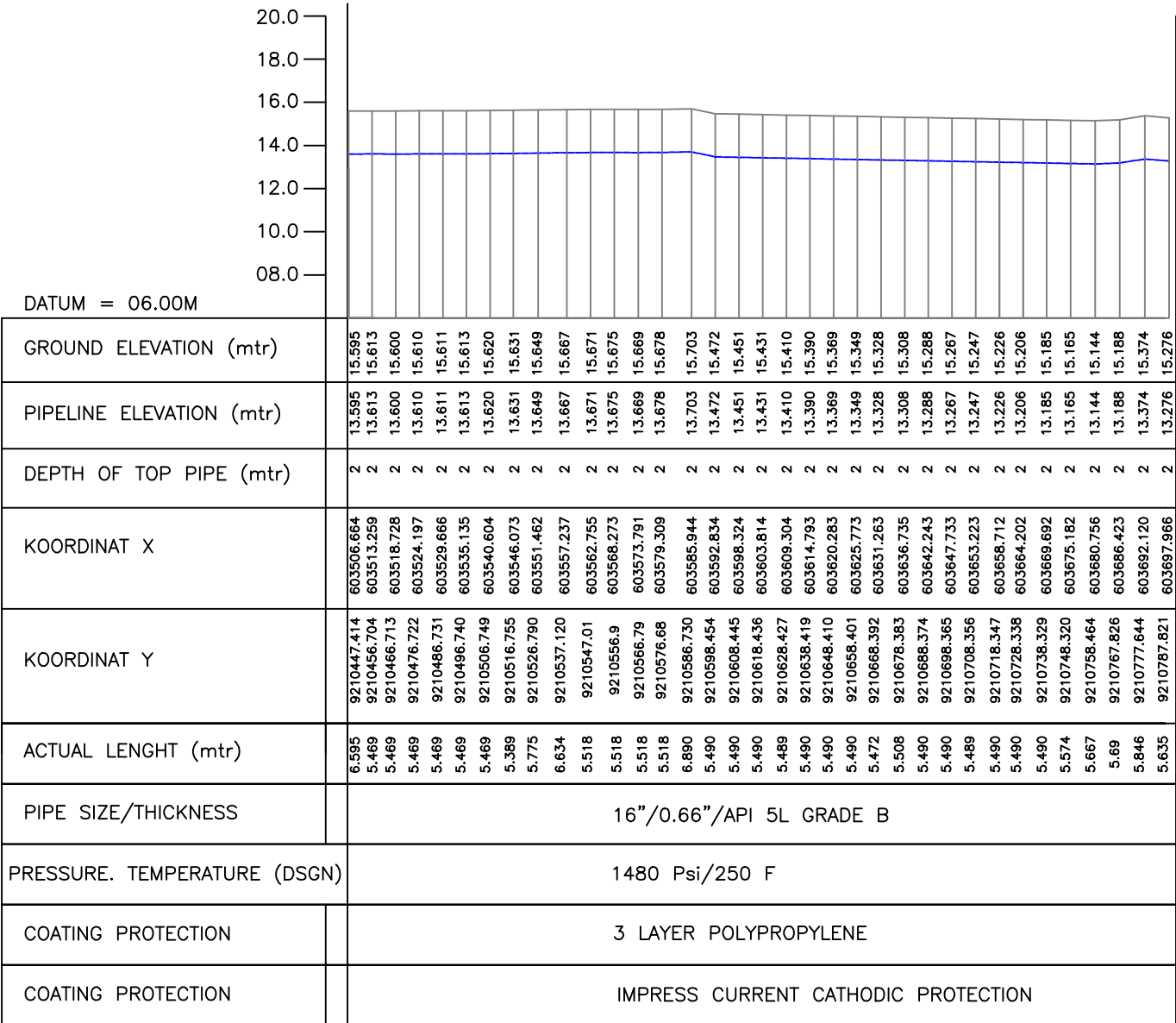
SKALA	NO. PROYEK	NOMOR GAMBAR	REV.
H 1:1000 V 1: 200		SUK-45-4206	

AS-BUILT


































## PROFIL MEMANJANG VERTIKAL



SKALA MENDATAR 1 : 1000  
SKALA TEGAK 1 : 200



C A T A T A N

## LEGENDA


	JALAN ASPAL/DESA		JALUR PIPA 16"
	JALAN KERETA API		GARIS IMPT
	SALURAN SUNGAI KECIL		GORONG-GORONG
	SUNGAI		PIPA CASING
	BATAS R.O.W.		GARIS KONTUR
	GARIS TENGAH R.O.W		JEMBATAN
	JALUR PIPA MINYAK 10" EKSIKTING		
	TIMBUN/FILL		
	POTONG/CUT		
	PEMUKIMAN		
	RAWA		
	LAUT		
	TAMBAK		
	SAWAH		
	KEBUN KELAPA		
	SEMAK		
	LADANG		
	HUTAN JATI		
	PERKEBUNAN		
	FASILITAS MINYAK/GAS		
	MAINHOLE		
	TIANG LISTRIK		
	TIANG TELEPON		
	DAMJAJ		
	AS JALAN		

	04/01/10	ISSUED FOR APPROVAL	MD	SR	AND	
	30/11/09	ISSUED FOR REVIEW	MD	SR	AND	
REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRN	CHK	ENG	

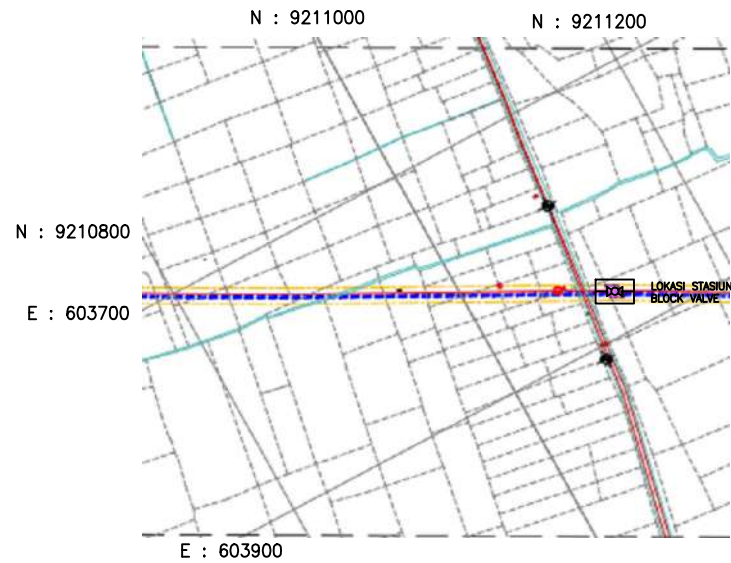
JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA EAST JAVA – PETROCHINA  
SUKOWATI FIELD

NAMA PROYEK : PIPELINE 16" - HL - 4064 - 3B  
SUKOWATI A - CPA MUDI

JUDUL GAMBAR :  
ROUTE ALIGNMENT SHEET  
16" SUKOWATI - CPA PIPELINE  
603500.00 - 603700.00

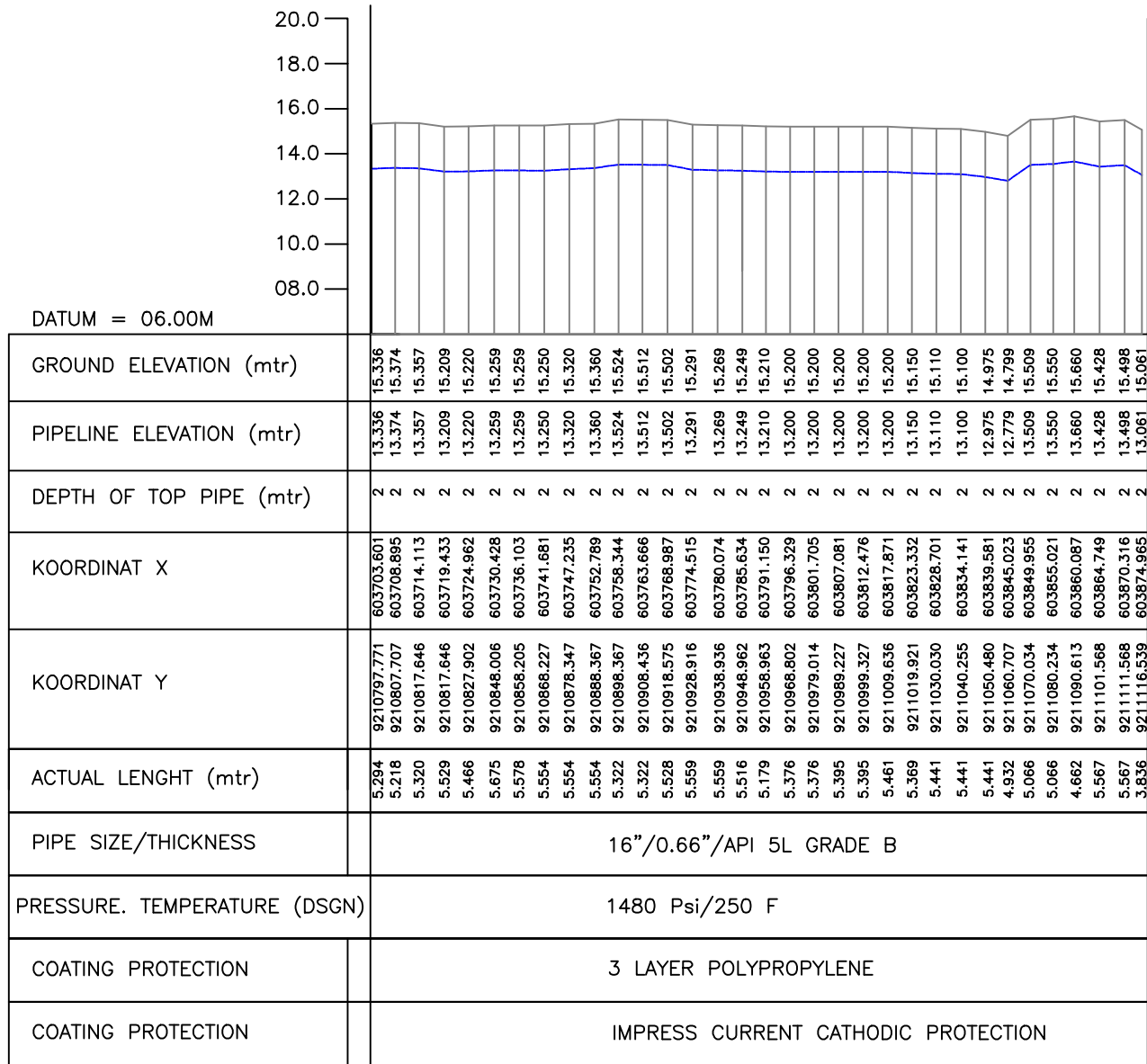
SKALA	NO. PROYEK	NOMOR GAMBAR	REV.
H 1:1000 V 1: 200		SUK-45-4207	

AS-BUILT



### PROFIL MEMANJANG VERTIKAL

SKALA MENDATAR 1 : 1000  
SKALA TEGAK 1 : 200



### CATATAN

### LEGENDA

	JALAN ASPAL/DESA		JALUR PIPA 16"
	JALAN KERETA API		GARIS IMPIT
	SALURAN SUNGAI KECIL		GORONG-GORONG
	SUNGAI		PIPA CASING
	BATAS R.O.W.		GARIS KONTUR
	GARIS TENGAH R.O.W		JEMBATAN
	JALUR PIPA MINYAK 10" EKSISTING		
	TIMBUN/FILL		BM IKAT
	POTONG/CUT		BM GPS
	PEMUKIMAN		LOKASI STASIUN
	RAWA		
	LAUT		
	TAMBAK		
	SAWAH		
	KEBUN KELAPA		
	SEMAK		
	LADANG		
	HUTAN JATI		
	PERKEBUNAN		
	FASILITAS MINYAK/GAS		
	MAINHOLE		
	TIANG LISTRIK		
	TIANG TELEPON		
	DAMBA		
	AS JLN		

B	04/01/10	ISSUED FOR APPROVAL	MD	SR	AND
A	30/11/09	ISSUED FOR REVIEW	MD	SR	AND
REV.	DATE	REVISION DESCRIPTION	DRN	CHK	ENG

JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA EAST JAVA – PETROCHINA  
SUKOWATI FIELD

NAMA PROYEK : PIPELINE 16" – HL – 4064 – 3B  
SUKOWATI A – CPA MUDI

JUDUL GAMBAR : ROUTE ALIGNMENT SHEET  
16" SUKOWATI – CPA PIPELINE  
603700.00 – 603900.00

SKALA	NO. PROYEK	NOMOR GAMBAR	REV.
H 1:1000 V 1: 200		SUK-45-4207	B

## Tabel of Content

1. INTRODUCTION .....	3
2. PURPOSE AND SCOPE.....	3
3. FIELD INVESTIGATION .....	3
3.1 Drillings .....	3
3.3 Undisturbed Samplings .....	3
3.5 Coordinates and Elevations of the Investigated Points .....	4
4. SUBSURFACES CONDITION .....	5
4.1 Soil Profile .....	5
5. LABORATORY TESTING .....	6
5.1 Description of Tests .....	6
6. ANALYSIS AND RECOMENDATION .....	6

## Table of Content

Tabel 3.1 : Coordinate and elevation of investigated points .....	4
Tabel 4.1 Soil Description.....	5
Tabel 6.1 Soil Parameter .....	6

## 1. INTRODUCTION

PERTAMINA – PETROCHINA Joint Operation is planning to analyze thermal expansion stress of pipeline facility, in Tuban East Java. To understand the soil conditions at the proposed site, PT. SOILENS has instructed to carry out soil investigation, which consisted of hand boring to take the undisturbed sample for laboratory test.

This final report presents the sub-surface information and the geotechnical properties for thermal analysis stress.

## 2. PURPOSE AND SCOPE

The purposes of our investigation were to explore the soil condition at the project area and to provide recommendations in relation to the thermal stress analysis. The scope of the investigations included:

- Hand boring 13 points to 3 m depth;
- Hand boring 8 point to 8 m depth;
- Undisturbed sample at hand boring;
- Laboratory test on undisturbed sample

The lay-out of the project and investigated points are shown in **PLATE A.1**.

## 3. FIELD INVESTIGATION

### 3.1 Drillings

The field investigation were carried out by a team lead by Maman Darmansyah with Boring Masters Ajang Sodikin.

The Process of soil taking by open cut with the hand boring were carried out using 1 (one) hand boring. The bores hole were advanced by continuous coring using NX-size, single tube core barrels apparatus with outer diameter of 89 mm. All hand boring were supervised by the Assitant Geologist, who also maintained a continuous logging on the core samples. These core samples were placed in wooden boxes, each containing 5 meter long of samples, and stored at the PT. Soilens office in Bandung. The undisturbed soil samples were carried out on cohesive soil layers. The detailed classification oh the soil samples are presented in boring logs **PLATE A.2**. The information on boring logs includes the field test results and locaions of samples.

### 3.3 Undisturbed Samplings

The undisturbed samples (US) were taken from cohesive soil layers. A total numbers of 42 US wes taken during boring. This way done by taking samples from the boreholes by means of seamless thin walled steel tube commonly known as Shelby tube.

The tube is 76.2 mm in diameter and has a beveled butting edge at the lower end. It was connected to the boring rod and pushed by man power. When the tube was almost full, it was withdrawn from the hole, removed from the boring rod, sealed at both ends with parafin, and shipped to PT. Soilens soil laboratory in Bandung.

### 3.5 Coordinates and Elevations of the Investigated Points

The coordinates and elevations of the investigated points are presented in Table 3.1. The investigated points was measured using of the existing benchmark as the reference point.

**Tabel 3.1 : Coordinate and elevation of investigated points**

No	Bore Point	Coordinate		Elevation (m)	Depth (m)
		North	West		
1	HB - 1	607293,492	9214421,635	13,69	0 - 3
2	HB - 2	606768,108	9214495,082	14,779	0 - 3
3	HB - 3	606177,765	9214558,835	16,477	0 - 8
4	HB - 4	605786,691	9214305,013	17,912	0 - 8
5	HB - 5	605501,987	9213948,884	20,240	0 - 8
6	HB - 6	605273,278	9213624,973	20,468	0 - 3
7	HB - 7	605026,759	9213204, 683	20,837	0 - 3
8	HB - 8	604771,112	9212746,296	21,651	0 - 3
9	HB - 9	604486,717	9212246,169	25,656	0 - 8
10	HB - 10	604257,628	9211919,477	29,557	0 - 3
11	HB - 11	604057,817	9211450,604	14,236	0 - 3
12	HB - 12	603818,137	9211030,909	15,089	0 - 3
13	HB - 13	603574,522	9210580,649	14,846	0 - 3
14	HB - 14	603335,330	9210149,256	15,336	0 - 3
15	HB - 15	606090,067	9209702,321	14,863	0 - 3
16	HB - 16	602761,030	9209431,669	15,182	0 - 8
17	HB - 17	602467,860	9209428,475	15,890	0 - 8
18	HB - 18	602014,627	9209398,163	14,523	0 - 8
19	HB - 19	601295,339	9209360,990	14,223	0 - 3
20	HB - 20	600665,478	9209356,815	14,176	0 - 8
21	HB - 21	600386,478	9209255,060	15,614	0 - 3



#### 4. SUBSURFACES CONDITION

##### 4.1 Soil Profile

Based on the boring logs, soil description for the each point are as follows :

**Tabel 4.1 Soil Description**

No	Bore Point	Depth (m)	Soil Description	Qu (kg/cm <sup>2</sup> )
1	BH - 1	0,00 - 3,00	Silty Clay, light gray become yellowfish gray	1,00 - 3,25
2	BH - 2	0,00 - 1,00	Silty Clay, light gray become	1,00
		1,00 - 3,00	Silty Clay, yellowfish gray	2,25 - 3,00
3	BH - 3	0,00 - 8,00	Silty Clay, dark brown	2,25 - 4,50
4	BH - 4	0,00 - 8,00	Silty Clay, yellow fish gray	1,25 - 4,25
5	BH - 5	0,00 - 5,00	Silty Clay, yellowfish gray	0,75 - 3,00
		5,00 - 8,00	Silty Clay, yellowfish brown	4,50
6	BH - 6	0,00 - 3,00	Silty Clay, yellowfish brown	0,75 - 1,25
7	BH - 7	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark brown	1,25 - 2,50
8	BH - 8	0,00 - 2,00	Silty Clay, dark gray	0,75
		2,00 - 3,00	Silty Clay, yellowfish gray	2,50
9	BH - 9	0,00 - 1,00	Silty Clay, dark gray	1,75
		1,00 - 8,00	Silty Clay, brownish yellow	–
10	BH - 10	0,00 - 1,70	Silty Clay, dark brown	1,75
		1,70 - 3,00	Silty Clay, brownish yellow	
11	BH - 11	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark gray	0,75
12	BH - 12	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark gray	0,50 - 1,50
13	BH - 13	0,00 - 3,00	Silty Clay, gray	0,75 - 1,50
14	BH - 14	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark gray	0,75 - 1,00
15	BH - 15	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark brown	0,75 - 2,25
16	BH - 16	0,00 - 0,50	Silty Clay, dark brown	
		0,50 - 6,00	Silty Clay with sand, dark brown	0,25 - 0,75
		6,00 - 8,00	Silty Clay, dark brown	
17	BH - 17	0,00 - 5,00	Silty Clay, brown	0,75 - 2,50
		5,00 - 8,00	Silty Clay, dark gray	2,5
18	BH - 18	0,00 - 1,00	Silty clay, dark brown	0,75 - 1,00
		1,00 - 6,00	Silty Clay, dark yellowish brown	1,00 - 2,50
		6,00 - 8,00	Silty Clay, dark brown	
19	BH - 19	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark brown	0,25 - 2,25
20	BH - 20	0,00 - 2,50	Silty Clay, dark brown	1,50 - 3,5
		2,50 - 3,50	Silty Clay, dark brown	2,75
		3,50 - 6,00	Silty Clay, yellowish brown	1,75 - 2,25
		6,00 - 8,00	Silty Clay, dark grey	2,5
21	BH - 21	0,00 - 3,00	Silty Clay, dark brown	1,25 - 1,75

## 5. LABORATORY TESTING

### 5.1 Description of Tests

Selected samples were tested to determine the classification and engineering characteristics of the soil. All tests were performed in accordance with ASTM standard.

The laboratory testing program was formulated with the following objectives in mind :

To provide means of correlation with strength parameters resulting in a better understanding of the physical behavior of the soils and facilitated the choice of the design parameters.

To obtain relevant strength data to form the basis for thermal stress analysis, etc.

The laboratory test on undisturbed samples and disturbed samples included the following:

- Bulk and dry density (ASTM D2937, ASTM D4254)
- Water content and porosity (ASTM D2216)
- Specific gravity and coefficient friction, ASTM D854
- Atterberg limit, ASTM D422, ASTM D427
- Sieve and hydrometer, ASTM D422, ASTM D1440
- UU triaxial test, ASTM D2850
- Consolidation test, ASTM D2435

## 6. ANALYSIS AND RECOMENDATION

Based on field test, we here with submit preliminary parameter  $c_u$  (undrained shear strength) and  $\mu$  (friction coefficient) are as follow :

**Tabel 6.1 Soil Parameter**

No	Bore Point	Depth (m)	Soil Type	$c_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	$\mu$
1	BH - 1	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,5	0,33
2	BH - 2	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,4	0,33
3	BH - 3	0,00 - 8,00	Silty Clay	2,2	0,33
4	BH - 4	0,00 - 8,00	Silty Clay	0,6	0,33
5	BH - 5	0,00 - 5,00	Silty Clay	0,3	0,33
		5,00 - 8,00	Silty Clay	1	0,33
6	BH - 6	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,6	0,33
7	BH - 7	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,5	0,33
8	BH - 8	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
9	BH - 9	0,00 - 1,00	Silty Clay	0,6	0,33
		1,00 - 8,00	Silty Clay	0,9	0,33
10	BH -10	0,00 - 1,70	Silty Clay	0,6	0,33

		1,70 - 3,00	Silty Clay	0,9	0,25
11	BH - 11	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
12	BH - 12	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
13	BH - 13	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
14	BH - 14	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
15	BH - 15	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,3	0,33
16	BH - 16	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,1	0,33
		3,00 - 6,00	Silty Clay	0,3	0,33
		6,00 - 8,00	Silty Clay	2	0,33
17	BH - 17	0,00 - 5,00	Silty Clay	0,3	0,33
		5,00 - 8,00	Silty Clay	1	0,33
18	BH - 18	0,00 - 6,00	Silty Clay	0,5	0,33
		6,00 - 8,00	Silty Clay	2	0,25
19	BH - 19	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,2	0,33
20	BH - 20	0,00 - 3,50	Silty Clay	0,7	0,33
		3,50 - 6,00	Silty Clay	0,5	0,33
		6,00 - 8,00	Silty Clay	1	0,33
21	BH - 21	0,00 - 3,00	Silty Clay	0,5	0,33



No	X (East)	Y (North)	Elevasi (m)	X (m)	Y (m)	Z (m)
1	602853,086	9209429,175	17,377	6,529	0,177	0,175
2	602859,615	9209429,352	17,552	4,322	-0,028	-0,025
3	602863,937	9209429,324	17,527	2,813	0,111	-1,617
4	602866,75	9209429,435	15,910	6,502	-0,001	0,000
5	602873,252	9209429,434	15,910	9,999	0,105	-2,559
6	602883,251	9209429,539	13,351	10,007	0,221	-0,065
7	602893,258	9209429,76	13,286	9,746	-1,297	0,159
8	602903,004	9209428,463	13,445	11,368	-0,809	-0,065
9	602914,372	9209427,654	13,380	11,578	-0,556	-0,074
10	602925,95	9209427,098	13,306	11,394	-0,125	-0,064
11	602937,344	9209426,973	13,242	12,009	0,511	-0,178
12	602949,353	9209427,484	13,064	2,075	1,199	-0,051
13	602951,428	9209428,683	13,013	8,844	17,141	-0,137
14	602960,272	9209445,824	12,876	5,231	10,280	0,220
15	602965,503	9209456,104	13,096	5,091	10,420	0,452
16	602970,594	9209466,524	13,548	5,083	9,982	0,002
17	602975,677	9209476,506	13,550	5,020	9,846	-0,350
18	602980,697	9209486,352	13,200	5,657	9,892	-0,050
19	602986,354	9209496,244	13,150	5,574	9,747	-0,053
20	602991,928	9209505,991	13,097	5,313	10,087	0,000
21	602997,241	9209516,078	13,097	5,403	10,257	0,053
22	603002,644	9209526,335	13,150	5,528	10,077	0,008
23	603008,172	9209536,412	13,158	5,639	10,167	0,002
24	603013,811	9209546,579	13,160	5,595	10,088	-0,010
25	603019,406	9209556,667	13,150	5,596	10,088	-0,015
26	603025,002	9209566,755	13,135	5,356	9,882	0,005
27	603030,358	9209576,637	13,140	5,189	10,138	-0,003
28	603035,547	9209586,775	13,137	5,131	10,113	0,018
29	603040,678	9209596,888	13,155	5,390	10,234	0,009
30	603046,068	9209607,122	13,164	5,304	10,492	-0,014
31	603051,372	9209617,614	13,150	5,541	9,904	-0,028
32	603056,913	9209627,518	13,122	5,444	10,276	0,000
33	603062,357	9209637,794	13,122	4,991	10,436	0,000
34	603067,348	9209648,23	13,122	5,228	10,172	-0,109
35	603072,576	9209658,402	13,013	5,307	10,227	0,020
36	603077,883	9209668,629	13,033	4,375	10,186	0,072
37	603082,258	9209678,815	13,105	6,608	10,211	0,018



38	603088,866	9209689,026	13,123	5,564	10,123	-0,003
39	603094,43	9209699,149	13,120	5,416	9,887	0,048
40	603099,846	9209709,036	13,168	5,533	9,898	0,116
41	603105,379	9209718,934	13,284	5,614	10,020	0,074
42	603110,993	9209728,954	13,358	5,931	10,021	0,000
43	603116,924	9209738,975	13,358	5,859	9,831	0,072
44	603122,783	9209748,806	13,430	5,858	9,910	0,017
45	603128,641	9209758,716	13,447	5,944	10,246	-0,088
46	603134,585	9209768,962	13,359	5,929	9,803	-0,073
47	603140,514	9209778,765	13,286	5,813	9,953	0,174
48	603146,327	9209788,718	13,460	5,698	9,935	0,199
49	603152,025	9209798,653	13,659	5,368	10,006	-0,011
50	603157,393	9209808,659	13,648	5,334	10,210	0,083
51	603162,727	9209818,869	13,731	5,237	10,057	-0,035
52	603167,964	9209828,926	13,696	5,707	10,401	-0,109
53	603173,671	9209839,327	13,587	5,718	10,201	-0,172
54	603179,389	9209849,528	13,415	5,887	9,734	-0,056
55	603185,276	9209859,262	13,359	5,851	9,586	0,157
56	603191,127	9209868,848	13,516	5,820	9,876	0,100
57	603196,947	9209878,724	13,616	5,817	10,141	-0,003
58	603202,764	9209888,865	13,613	5,604	10,207	0,031
59	603208,368	9209899,072	13,644	5,639	10,156	-0,434
60	603214,007	9209909,228	13,210	5,418	9,755	0,537
61	603219,425	9209918,983	13,747	5,472	10,066	0,117
62	603224,897	9209929,049	13,864	5,494	10,520	-0,284
63	603230,391	9209939,569	13,962	4,957	10,091	-0,059
64	603235,348	9209949,66	13,903	5,173	10,068	0,382
65	603240,521	9209959,728	14,285	4,280	7,590	0,501
66	603244,801	9209967,318	14,871	5,339	10,238	0,586
67	603250,14	9209977,556	15,558	3,235	6,029	0,687
68	603253,375	9209983,585	15,344	2,145	3,858	-0,214
69	603255,52	9209987,443	14,943	6,427	11,703	-0,401
70	603261,947	9209999,146	14,406	5,142	7,930	-0,537
71	603267,089	9210007,076	13,804	5,670	9,444	-0,602
72	603272,759	9210016,52	13,108	5,550	10,244	0,023
73	603278,309	9210026,764	12,831	5,431	10,023	0,018
74	603283,74	9210036,787	12,849	5,431	10,023	0,019
75	603289,171	9210046,81	12,868	5,430	10,023	0,018



76	603294,601	9210056,833	12,886	5,432	10,025	0,018
77	603300,033	9210066,858	12,904	5,433	10,027	0,018
78	603305,466	9210076,885	12,922	5,430	10,023	0,018
79	603310,896	9210086,908	12,940	5,431	10,023	-0,345
80	603316,327	9210096,931	12,595	5,431	10,024	0,382
81	603321,758	9210106,955	12,977	5,431	10,024	0,018
82	603327,189	9210116,979	12,995	5,431	10,024	0,018
83	603332,62	9210127,003	13,013	5,432	10,024	0,019
84	603338,052	9210137,027	13,032	5,431	10,025	0,018
85	603343,483	9210147,052	13,050	5,431	10,024	0,018
86	603348,914	9210157,076	13,068	5,432	10,024	0,018
87	603354,346	9210167,1	13,086	5,431	10,024	0,018
88	603359,777	9210177,124	13,104	5,241	9,673	0,019
89	603365,018	9210186,797	13,123	5,622	10,377	0,018
90	603370,64	9210197,174	13,141	5,431	10,023	0,018
91	603376,071	9210207,197	13,159	5,336	9,848	0,018
92	603381,407	9210217,045	13,177	5,431	10,025	0,018
93	603386,838	9210227,07	13,195	5,527	10,200	0,019
94	603392,365	9210237,27	13,214	5,336	9,848	0,018
95	603397,701	9210247,118	13,232	5,431	10,024	0,018
96	603403,132	9210257,142	13,250	5,431	10,025	0,018
97	603408,563	9210267,167	13,268	5,432	10,024	0,000
98	603413,995	9210277,191	13,268	5,897	9,873	0,036
99	603419,892	9210287,064	13,304	5,689	9,824	0,018
100	603425,581	9210296,888	13,322	5,690	9,824	0,000
101	603431,271	9210306,712	13,322	5,545	9,984	0,018
102	603436,816	9210316,696	13,340	5,483	10,161	0,018
103	603442,299	9210326,857	13,358	5,345	9,906	0,018
104	603447,644	9210336,763	13,376	5,297	10,111	0,018
105	603452,941	9210346,874	13,394	5,256	10,116	0,018
106	603458,197	9210356,99	13,412	5,234	10,134	0,018
107	603463,431	9210367,124	13,430	5,217	10,134	0,018
108	603468,648	9210377,258	13,448	5,296	10,090	0,018
109	603473,944	9210387,348	13,466	5,359	10,063	0,018
110	603479,303	9210397,411	13,484	5,298	10,095	0,039
111	603484,601	9210407,506	13,523	5,432	10,024	0,018
112	603490,033	9210417,53	13,541	5,280	10,100	0,018
113	603495,313	9210427,63	13,559	5,304	10,107	0,018

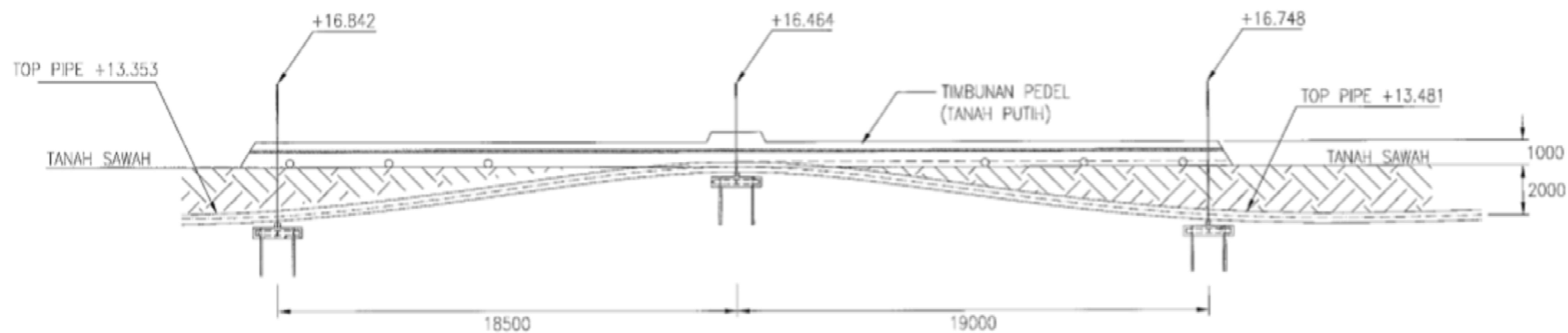


114	603500,617	9210437,737	13,577	6,047	9,677	0,018
115	603506,664	9210447,414	13,595	6,595	9,290	0,018
116	603513,259	9210456,704	13,613	5,469	10,009	-0,013
117	603518,728	9210466,713	13,600	5,469	10,009	0,010
118	603524,197	9210476,722	13,610	5,469	10,009	0,001
119	603529,666	9210486,731	13,611	5,469	10,009	0,002
120	603535,135	9210496,74	13,613	5,469	10,009	0,007
121	603540,604	9210506,749	13,620	5,469	10,006	0,011
122	603546,073	9210516,755	13,631	5,389	10,035	0,018
123	603551,462	9210526,79	13,649	5,775	10,330	0,018
124	603557,237	9210537,12	13,667	5,518	9,890	0,004
125	603562,755	9210547,01	13,671	5,518	9,890	0,004
126	603568,273	9210556,9	13,675	5,518	9,890	-0,006
127	603573,791	9210566,79	13,669	5,518	9,890	0,009
128	603579,309	9210576,68	13,678	6,635	10,050	0,025
129	603585,944	9210586,73	13,703	6,890	11,724	-0,231
130	603592,834	9210598,454	13,472	5,490	9,991	-0,021
131	603598,324	9210608,445	13,451	5,490	9,991	-0,020
132	603603,814	9210618,436	13,431	5,490	9,991	-0,021
133	603609,304	9210628,427	13,410	5,489	9,992	-0,020
134	603614,793	9210638,419	13,390	5,490	9,991	-0,021
135	603620,283	9210648,41	13,369	5,490	9,991	-0,020
136	603625,773	9210658,401	13,349	5,490	9,991	-0,021
137	603631,263	9210668,392	13,328	5,472	9,991	-0,020
138	603636,735	9210678,383	13,308	5,508	9,991	-0,020
139	603642,243	9210688,374	13,288	5,490	9,991	-0,021
140	603647,733	9210698,365	13,267	5,490	9,991	<b>-0,020</b>
141	603653,223	9210708,356	13,247	5,489	9,991	-0,021
142	603658,712	9210718,347	13,226	5,490	9,991	-0,020
143	603664,202	9210728,338	13,206	5,490	9,991	-0,021
144	603669,692	9210738,329	13,185	5,490	9,991	-0,020
145	603675,182	9210748,32	13,165	5,574	10,144	-0,021
146	603680,756	9210758,464	13,144	5,667	9,362	0,044
147	603686,423	9210767,826	13,188	5,697	9,818	0,186
148	603692,12	9210777,644	13,374	5,846	10,177	-0,098
149	603697,966	9210787,821	13,276	5,635	9,950	0,060
150	603703,601	9210797,771	13,336	5,294	9,936	0,038
151	603708,895	9210807,707	13,374	5,218	9,939	-0,017

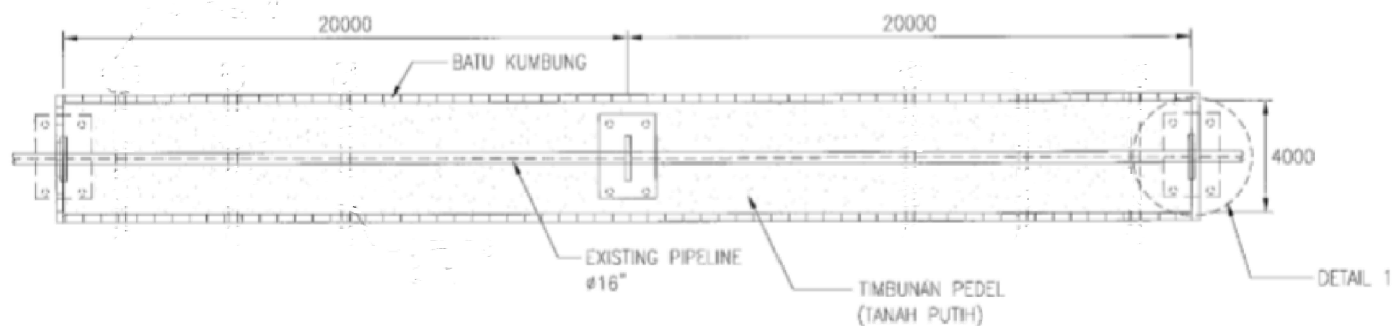


152	603714,113	9210817,646	13,357	5,320	10,000	-0,148
153	603719,433	9210827,646	13,209	5,529	10,256	0,011
154	603724,962	9210837,902	13,220	5,466	10,104	0,039
155	603730,428	9210848,006	13,259	5,675	10,199	0,000
156	603736,103	9210858,205	13,259	5,578	10,022	-0,009
157	603741,681	9210868,227	13,250	5,554	10,120	0,070
158	603747,235	9210878,347	13,320	5,554	10,020	0,040
159	603752,789	9210888,367	13,360	5,555	10,000	0,164
160	603758,344	9210898,367	13,524	5,322	10,069	-0,012
161	603763,666	9210908,436	13,512	5,321	10,139	-0,010
162	603768,987	9210918,575	13,502	5,528	10,341	-0,211
163	603774,515	9210928,916	13,291	5,559	10,020	-0,022
164	603780,074	9210938,936	13,269	5,560	10,026	-0,020
165	603785,634	9210948,962	13,249	5,516	10,001	-0,039
166	603791,15	9210958,963	13,210	5,179	9,839	-0,010
167	603796,329	9210968,802	13,200	5,376	10,212	0,000
168	603801,705	9210979,014	13,200	5,376	10,213	0,000
169	603807,081	9210989,227	13,200	5,395	10,100	0,000
170	603812,476	9210999,327	13,200	5,395	10,309	0,000
171	603817,871	9211009,636	13,200	5,461	10,285	-0,050
172	603823,332	9211019,921	13,150	5,369	10,109	-0,040
173	603828,701	9211030,03	13,110	5,440	10,195	-0,010
174	603834,141	9211040,225	13,100	5,440	10,255	-0,125
175	603839,581	9211050,48	12,975	5,442	10,227	-0,176
176	603845,023	9211060,707	12,799	4,932	9,327	0,710
177	603849,955	9211070,034	13,509	5,066	10,200	0,041
178	603855,021	9211080,234	13,550	5,066	10,379	0,110
179	603860,087	9211090,613	13,660	4,662	10,955	-0,232
180	603864,749	9211101,568	13,428	5,567	10,000	0,070
181	603870,316	9211111,568	13,498	4,649	4,971	-0,437





PENGAMATAN Tgl. 26 - 04 - 2013



TAMPAK ATAS  
SCALE 1:100

				TUBAN PROJECT ENGINEERING JAKARTA				JOINT OPERATING BODY PERTAMINA-PETROCHINA EAST JAVA SUKOWATI-FIELD				
				SCALE	BY	DRAWN	CHKD	DATE	LAYOUT & TYPICAL DEEPING 16" PIPELINE PLAN, SECTION & DETAIL			
				PROJ. NO.	AL	SIZE	AI	DATE				
				PROJ. ENG.	SR	DATE	AI	DATE				
				APPROVAL	BY	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				
				DATE	NO.	DATE	DATE	DATE				



JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA – PETROCHINA EAST JAVA



Date : 1-feb-12

Subject : Planing Schedule Lay Down Buckling 16" Suk – CPA Pipeline

Location : Ds. Simo, Tuban

TIME SCHEDULE REPAIR EXISTING 16" SUK A - CPA																
No	Description	% weight load	Unit	Qty	I											
					day 1	day 2	day 3	day 4	day 5	day 6	day 7	day 8	day 9	day 10	day 11	day 12
I	<b>Permit, socialization, Land Rent</b>	10,00	lot	1	10											
II	<b>Preparation</b>															
	1. Moving Heavy equip to location	8,00	lot	1	8											
	2. Moving material and tools	2,00	lot	1	1	1										
III	<b>Execution</b>															
	1. Digging and supporting pipe	10,00	lot	1		3	3	4								
	2. Fabricate pilling and support laying pipe	5,00	lot	1		2,5	2,5									
	3. Steak Out/survey as build	10,00	lot	1		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	4. Excavation	15,00	m	120				3	3	3	3	3				
	5. Lowering	15,00	m	120						3	3	3	3	3		
	6. Install concrete block, Back fill and rehabilitation	15,00	m	120												
IV	<b>Finishing</b>															
	1. Demobilitazion	10,00	lot	1												10
	<b>PARTIAL PROGRESS</b>				19	7,5	6,5	8	4	7	10	10	7	7	4	10
	<b>TOTAL PROGRESS</b>	100			19	26,5	33	41	45	52	62	72	79	86	90	100



JOINT OPERATING BODY  
PERTAMINA – PETROCHINA EAST JAVA



## HASIL PERHITUNAN BERAT PIPA + FLUIDA

Segmen	Panjang Pipa (m)	Berat Pipa (N)	Berat Fluida (N)	Berat Total Pipa (N)	Berat/Panjang (N/m)
1	0,7874	1238,384	695,520	1933,905	2456,064
2	5,840	9184,867	5158,546	14343,413	2456,064
3	7,140	11229,443	6306,853	17536,296	2456,064
4	6,502	10226,028	5743,299	15969,327	2456,064
5	8,863	13939,293	7828,801	21768,094	2456,064
6	11,140	17520,448	9840,104	27360,552	2456,064
7	9,746	15328,033	8608,766	23936,799	2456,064
8	11,363	17871,171	10037,083	27908,254	2456,064
9	11,578	18209,313	10226,995	28436,308	2456,064
10	11,394	17919,926	10064,465	27984,392	2456,064
11	12,009	18887,168	10607,703	29494,871	2456,064
12	2,075	3263,459	1832,874	5096,333	2456,064
13	8,844	13909,411	7812,018	21721,429	2456,064
14	5,231	8227,061	4620,609	12847,670	2456,064
15	5,091	8006,876	4496,945	12503,821	2456,064
16	5,083	7994,294	4489,879	12484,173	2456,064
17	5,020	7895,211	4434,230	12329,441	2456,064
18	5,567	8755,506	4917,402	13672,908	2456,064
19	5,574	8766,515	4923,585	13690,100	2456,064
20	5,313	8356,027	4693,041	13049,067	2456,064
21	5,403	8497,574	4772,539	13270,113	2456,064
22	5,528	8694,168	4882,953	13577,121	2456,064
23	5,639	8868,744	4981,001	13849,744	2456,064
24	5,595	8799,543	4942,135	13741,677	2456,064
25	5,596	8801,115	4943,018	13744,133	2456,064
26	5,356	8423,655	4731,023	13154,678	2456,064
27	5,189	8161,006	4583,510	12744,515	2456,064
28	5,131	8069,786	4532,278	12602,064	2456,064
29	5,390	8477,129	4761,056	13238,184	2456,064
30	5,304	8341,872	4685,091	13026,963	2456,064
31	5,541	8714,614	4894,436	13609,050	2456,064
32	5,444	8562,057	4808,755	13370,812	2456,064
33	5,991	9422,352	5291,927	14714,279	2456,064
34	5,228	8222,343	4617,959	12840,302	2456,064
35	5,307	8346,590	4687,741	13034,331	2456,064
36	5,375	8453,537	4747,806	13201,343	2456,064

37	5,608	8819,988	4953,618	13773,606	2456,064
38	5,564	8750,787	4914,752	13665,539	2456,064
39	5,416	8518,020	4784,022	13302,042	2456,064
40	5,533	8702,032	4887,369	13589,401	2456,064
41	5,614	8829,425	4958,918	13788,343	2456,064
42	5,931	9327,987	5238,928	14566,915	2456,064
43	5,859	9214,749	5175,329	14390,078	2456,064
44	5,858	9213,176	5174,446	14387,622	2456,064
45	5,944	9348,433	5250,411	14598,844	2456,064
46	5,929	9324,841	5237,161	14562,003	2456,064
47	5,813	9142,402	5134,697	14277,099	2456,064
48	5,698	8961,536	5033,116	13994,652	2456,064
49	5,368	8442,528	4741,623	13184,151	2456,064
50	5,334	8389,055	4711,590	13100,645	2456,064
51	5,237	8236,498	4625,909	12862,407	2456,064
52	5,707	8975,691	5041,066	14016,757	2456,064
53	5,718	8992,991	5050,782	14043,773	2456,064
54	5,887	9258,786	5200,062	14458,848	2456,064
55	5,851	9202,167	5168,263	14370,430	2456,064
56	5,82	9153,412	5140,880	14294,292	2456,064
57	5,817	9148,693	5138,230	14286,924	2456,064
58	5,604	8813,697	4950,085	13763,782	2456,064
59	5,639	8868,744	4981,001	13849,744	2456,064
60	5,418	8521,166	4785,788	13306,954	2456,064
61	5,472	8606,094	4833,487	13439,582	2456,064
62	5,494	8640,695	4852,920	13493,615	2456,064
63	4,957	7796,127	4378,581	12174,709	2456,064
64	5,173	8135,842	4569,377	12705,218	2456,064
65	4,28	6731,375	3780,579	10511,953	2456,064
66	5,339	8396,918	4716,007	13112,925	2456,064
67	3,235	5087,850	2857,517	7945,367	2456,064
68	2,145	3373,551	1894,706	5268,257	2456,064
69	6,127	9636,246	5412,057	15048,303	2456,064
70	5,142	8087,086	4541,994	12629,080	2456,064
71	5,67	8917,499	5008,383	13925,882	2456,064
72	5,55	8728,769	4902,386	13631,154	2456,064
73	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
74	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
75	5,43	8540,039	4796,388	13336,427	2456,064
76	5,432	8543,184	4798,155	13341,339	2456,064
77	5,433	8544,757	4799,038	13343,795	2456,064

78	5,43	8540,039	4796,388	13336,427	2456,064
79	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
80	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
81	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
82	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
83	5,432	8543,184	4798,155	13341,339	2456,064
84	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
85	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
86	5,432	8543,184	4798,155	13341,339	2456,064
87	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
88	5,241	8242,789	4629,442	12872,231	2456,064
89	5,622	8842,007	4965,984	13807,991	2456,064
90	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
91	5,336	8392,200	4713,357	13105,557	2456,064
92	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
93	5,527	8692,595	4882,070	13574,665	2456,064
94	5,336	8392,200	4713,357	13105,557	2456,064
95	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
96	5,431	8541,611	4797,272	13338,883	2456,064
97	5,432	8543,184	4798,155	13341,339	2456,064
98	5,897	9274,513	5208,895	14483,409	2456,064
99	5,689	8947,381	5025,166	13972,547	2456,064
100	5,689	8947,381	5025,166	13972,547	2456,064
101	5,545	8720,905	4897,969	13618,874	2456,064
102	5,483	8623,394	4843,204	13466,598	2456,064
103	5,345	8406,355	4721,307	13127,661	2456,064
104	5,297	8330,863	4678,908	13009,770	2456,064
105	5,256	8266,380	4642,692	12909,072	2456,064
106	5,234	8231,779	4623,259	12855,038	2456,064
107	5,217	8205,043	4608,243	12813,285	2456,064
108	5,296	8329,290	4678,024	13007,314	2456,064
109	5,359	8428,373	4733,673	13162,046	2456,064
110	5,298	8332,435	4679,791	13012,226	2456,064
111	5,432	8543,184	4798,155	13341,339	2456,064
112	5,28	8304,126	4663,891	12968,017	2456,064
113	5,304	8341,872	4685,091	13026,963	2456,064
114	6,047	9510,426	5341,392	14851,818	2456,064
115	6,595	10372,294	5825,448	16197,741	2456,064
116	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064
117	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064
118	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064

119	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064
120	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064
121	5,469	8601,376	4830,837	13432,213	2456,064
122	5,389	8475,556	4760,172	13235,728	2456,064
123	5,775	9082,638	5101,131	14183,769	2456,064
124	6,634	10433,631	5859,897	16293,528	2456,064
125	5,518	8678,441	4874,120	13552,560	2456,064
126	5,518	8678,441	4874,120	13552,560	2456,064
127	5,518	8678,441	4874,120	13552,560	2456,064
128	5,518	8678,441	4874,120	13552,560	2456,064
129	6,89	10836,255	6086,025	16922,280	2456,064
130	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
131	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
132	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
133	5,489	8632,831	4848,504	13481,335	2456,064
134	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
135	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
136	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
137	5,472	8606,094	4833,487	13439,582	2456,064
138	5,508	8662,713	4865,287	13528,000	2456,064
139	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
140	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
141	5,489	8632,831	4848,504	13481,335	2456,064
142	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
143	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
144	5,49	8634,404	4849,387	13483,791	2456,064
145	5,574	8766,515	4923,585	13690,100	2456,064
146	5,667	8912,781	5005,733	13918,514	2456,064
147	5,69	8948,954	5026,050	13975,003	2456,064
148	5,846	9194,303	5163,846	14358,149	2456,064
149	5,635	8862,453	4977,467	13839,920	2456,064
150	5,294	8326,144	4676,258	13002,402	2456,064
151	5,218	8206,615	4609,126	12815,741	2456,064
152	5,32	8367,036	4699,224	13066,260	2456,064
153	5,529	8695,741	4883,836	13579,577	2456,064
154	5,466	8596,658	4828,187	13424,845	2456,064
155	5,675	8925,363	5012,800	13938,162	2456,064
156	5,578	8772,806	4927,118	13699,924	2456,064
157	5,554	8735,060	4905,919	13640,979	2456,064
158	5,554	8735,060	4905,919	13640,979	2456,064
159	5,554	8735,060	4905,919	13640,979	2456,064

160	5,322	8370,182	4700,990	13071,172	2456,064
161	5,322	8370,182	4700,990	13071,172	2456,064
162	5,528	8694,168	4882,953	13577,121	2456,064
163	5,559	8742,924	4910,336	13653,259	2456,064
164	5,559	8742,924	4910,336	13653,259	2456,064
165	5,516	8675,295	4872,353	13547,648	2456,064
166	5,179	8145,278	4574,677	12719,955	2456,064
167	5,376	8455,110	4748,689	13203,799	2456,064
168	5,376	8455,110	4748,689	13203,799	2456,064
169	5,395	8484,992	4765,472	13250,465	2456,064
170	5,395	8484,992	4765,472	13250,465	2456,064
171	5,461	8588,794	4823,771	13412,565	2456,064
172	5,369	8444,101	4742,506	13186,607	2456,064
173	5,441	8557,339	4806,105	13363,444	2456,064
174	5,441	8557,339	4806,105	13363,444	2456,064
175	5,441	8557,339	4806,105	13363,444	2456,064
176	4,932	7756,809	4356,498	12113,307	2456,064
177	5,066	7967,557	4474,862	12442,420	2456,064
178	5,066	7967,557	4474,862	12442,420	2456,064
179	4,662	7332,166	4118,004	11450,170	2456,064
180	5,567	8755,506	4917,402	13672,908	2456,064
181	5,567	8755,506	4917,402	13672,908	2456,064



## HASIL PERHITUNGAN TEGANGAN PIPA

S	Panjang (m)	Sh (MPa)	Se (Mpa)	Sposion (MPa)	Slax (MPa)	Sb (Mpa)	SL (Mpa)	Seq (MPa)
1	0,780	55,58	66	16,673	24,505	0,066	106,896	92,599
2	5,840	55,58	66	16,673	24,505	3,648	110,478	95,677
3	7,140	55,58	66	16,673	24,505	5,453	112,283	97,241
4	6,502	55,58	66	16,673	24,505	4,522	111,352	96,433
5	8,863	55,58	66	16,673	24,505	8,402	115,232	99,815
6	11,140	55,58	66	16,673	24,505	13,274	120,104	104,109
7	9,746	55,58	66	16,673	24,505	10,159	116,989	101,358
8	11,363	55,58	66	16,673	24,505	13,810	120,640	104,585
9	11,578	55,58	66	16,673	24,505	14,338	121,168	105,054
10	11,394	55,58	66	16,673	24,505	13,886	120,716	104,652
11	12,009	55,58	66	16,673	24,505	15,425	122,255	106,022
12	2,075	55,58	66	16,673	24,505	0,461	107,290	92,936
13	8,844	55,58	66	16,673	24,505	8,366	115,196	99,783
14	5,231	55,58	66	16,673	24,505	2,927	109,757	95,055
15	5,091	55,58	66	16,673	24,505	2,772	109,602	94,921
16	5,083	55,58	66	16,673	24,505	2,763	109,593	94,914
17	5,020	55,58	66	16,673	24,505	2,695	109,525	94,855
18	5,567	55,58	66	16,673	24,505	3,315	110,145	95,389
19	5,574	55,58	66	16,673	24,505	3,323	110,153	95,397
20	5,313	55,58	66	16,673	24,505	3,019	109,849	95,134
21	5,403	55,58	66	16,673	24,505	3,122	109,952	95,223
22	5,528	55,58	66	16,673	24,505	3,269	110,098	95,350
23	5,639	55,58	66	16,673	24,505	3,401	110,231	95,464
24	5,595	55,58	66	16,673	24,505	3,348	110,178	95,418
25	5,596	55,58	66	16,673	24,505	3,349	110,179	95,419
26	5,356	55,58	66	16,673	24,505	3,068	109,898	95,177
27	5,189	55,58	66	16,673	24,505	2,880	109,710	95,014
28	5,131	55,58	66	16,673	24,505	2,816	109,646	94,959
29	5,390	55,58	66	16,673	24,505	3,107	109,937	95,210
30	5,304	55,58	66	16,673	24,505	3,009	109,839	95,126
31	5,541	55,58	66	16,673	24,505	3,284	110,114	95,363
32	5,444	55,58	66	16,673	24,505	3,170	110,000	95,264
33	5,991	55,58	66	16,673	24,505	3,839	110,669	95,842
34	5,228	55,58	66	16,673	24,505	2,923	109,753	95,052
35	5,307	55,58	66	16,673	24,505	3,012	109,842	95,129
36	5,375	55,58	66	16,673	24,505	3,090	109,920	95,196
37	5,608	55,58	66	16,673	24,505	3,364	110,194	95,432
38	5,564	55,58	66	16,673	24,505	3,311	110,141	95,386

39	5,416	55,58	66	16,673	24,505	3,137	109,967	95,236
40	5,533	55,58	66	16,673	24,505	3,274	110,104	95,355
41	5,614	55,58	66	16,673	24,505	3,371	110,201	95,438
42	5,931	55,58	66	16,673	24,505	3,762	110,592	95,776
43	5,859	55,58	66	16,673	24,505	3,672	110,502	95,698
44	5,858	55,58	66	16,673	24,505	3,670	110,500	95,697
45	5,944	55,58	66	16,673	24,505	3,779	110,609	95,791
46	5,929	55,58	66	16,673	24,505	3,760	110,590	95,774
47	5,813	55,58	66	16,673	24,505	3,614	110,444	95,648
48	5,698	55,58	66	16,673	24,505	3,473	110,303	95,526
49	5,368	55,58	66	16,673	24,505	3,082	109,912	95,189
50	5,334	55,58	66	16,673	24,505	3,043	109,873	95,155
51	5,237	55,58	66	16,673	24,505	2,933	109,763	95,060
52	5,707	55,58	66	16,673	24,505	3,484	110,314	95,535
53	5,718	55,58	66	16,673	24,505	3,497	110,327	95,547
54	5,887	55,58	66	16,673	24,505	3,707	110,537	95,728
55	5,851	55,58	66	16,673	24,505	3,662	110,492	95,689
56	5,820	55,58	66	16,673	24,505	3,623	110,453	95,656
57	5,817	55,58	66	16,673	24,505	3,619	110,449	95,652
58	5,604	55,58	66	16,673	24,505	3,359	110,189	95,428
59	5,639	55,58	66	16,673	24,505	3,401	110,231	95,464
60	5,418	55,58	66	16,673	24,505	3,140	109,970	95,238
61	5,472	55,58	66	16,673	24,505	3,203	110,033	95,293
62	5,494	55,58	66	16,673	24,505	3,228	110,058	95,315
63	4,957	55,58	66	16,673	24,505	2,628	109,458	94,797
64	5,173	55,58	66	16,673	24,505	2,862	109,692	94,999
65	4,280	55,58	66	16,673	24,505	1,959	108,789	94,222
66	5,339	55,58	66	16,673	24,505	3,049	109,879	95,160
67	3,235	55,58	66	16,673	24,505	1,119	107,949	93,501
68	2,145	55,58	66	16,673	24,505	0,492	107,322	92,963
69	6,127	55,58	66	16,673	24,505	4,015	110,845	95,995
70	5,142	55,58	66	16,673	24,505	2,828	109,658	94,970
71	5,670	55,58	66	16,673	24,505	3,439	110,269	95,496
72	5,550	55,58	66	16,673	24,505	3,295	110,125	95,372
73	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
74	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
75	5,430	55,58	66	16,673	24,505	3,154	109,984	95,250
76	5,432	55,58	66	16,673	24,505	3,156	109,986	95,252
77	5,433	55,58	66	16,673	24,505	3,157	109,987	95,253
78	5,430	55,58	66	16,673	24,505	3,154	109,984	95,250
79	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
80	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
81	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
82	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
83	5,432	55,58	66	16,673	24,505	3,156	109,986	95,252

84	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
85	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
86	5,432	55,58	66	16,673	24,505	3,156	109,986	95,252
87	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
88	5,241	55,58	66	16,673	24,505	2,938	109,768	95,064
89	5,622	55,58	66	16,673	24,505	3,381	110,211	95,446
90	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
91	5,336	55,58	66	16,673	24,505	3,045	109,875	95,157
92	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
93	5,527	55,58	66	16,673	24,505	3,267	110,097	95,349
94	5,336	55,58	66	16,673	24,505	3,045	109,875	95,157
95	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
96	5,431	55,58	66	16,673	24,505	3,155	109,985	95,251
97	5,432	55,58	66	16,673	24,505	3,156	109,986	95,252
98	5,897	55,58	66	16,673	24,505	3,719	110,549	95,739
99	5,689	55,58	66	16,673	24,505	3,462	110,292	95,516
100	5,689	55,58	66	16,673	24,505	3,462	110,292	95,516
101	5,545	55,58	66	16,673	24,505	3,289	110,119	95,367
102	5,483	55,58	66	16,673	24,505	3,216	110,045	95,304
103	5,345	55,58	66	16,673	24,505	3,056	109,886	95,166
104	5,297	55,58	66	16,673	24,505	3,001	109,831	95,119
105	5,256	55,58	66	16,673	24,505	2,955	109,785	95,079
106	5,234	55,58	66	16,673	24,505	2,930	109,760	95,058
107	5,217	55,58	66	16,673	24,505	2,911	109,741	95,041
108	5,296	55,58	66	16,673	24,505	3,000	109,830	95,118
109	5,359	55,58	66	16,673	24,505	3,072	109,902	95,180
110	5,298	55,58	66	16,673	24,505	3,002	109,832	95,120
111	5,432	55,58	66	16,673	24,505	3,156	109,986	95,252
112	5,280	55,58	66	16,673	24,505	2,982	109,812	95,102
113	5,304	55,58	66	16,673	24,505	3,009	109,839	95,126
114	6,047	55,58	66	16,673	24,505	3,911	110,741	95,905
115	6,595	55,58	66	16,673	24,505	4,652	111,482	96,546
116	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
117	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
118	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
119	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
120	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
121	5,469	55,58	66	16,673	24,505	3,199	110,029	95,290
122	5,389	55,58	66	16,673	24,505	3,106	109,936	95,209
123	5,775	55,58	66	16,673	24,505	3,567	110,397	95,607
124	6,634	55,58	66	16,673	24,505	4,707	111,537	96,594
125	5,518	55,58	66	16,673	24,505	3,257	110,087	95,339
126	5,518	55,58	66	16,673	24,505	3,257	110,087	95,339
127	5,518	55,58	66	16,673	24,505	3,257	110,087	95,339
128	5,518	55,58	66	16,673	24,505	3,257	110,087	95,339

129	6,890	55,58	66	16,673	24,505	5,078	111,908	96,915
130	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
131	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
132	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
133	5,489	55,58	66	16,673	24,505	3,223	110,053	95,310
134	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
135	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
136	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
137	5,472	55,58	66	16,673	24,505	3,203	110,033	95,293
138	5,508	55,58	66	16,673	24,505	3,245	110,075	95,329
139	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
140	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
141	5,489	55,58	66	16,673	24,505	3,223	110,053	95,310
142	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
143	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
144	5,490	55,58	66	16,673	24,505	3,224	110,054	95,311
145	5,574	55,58	66	16,673	24,505	3,323	110,153	95,397
146	5,667	55,58	66	16,673	24,505	3,435	110,265	95,493
147	5,690	55,58	66	16,673	24,505	3,463	110,293	95,517
148	5,846	55,58	66	16,673	24,505	3,655	110,485	95,684
149	5,635	55,58	66	16,673	24,505	3,396	110,226	95,460
150	5,294	55,58	66	16,673	24,505	2,998	109,828	95,116
151	5,218	55,58	66	16,673	24,505	2,912	109,742	95,042
152	5,320	55,58	66	16,673	24,505	3,027	109,857	95,141
153	5,529	55,58	66	16,673	24,505	3,270	110,100	95,351
154	5,466	55,58	66	16,673	24,505	3,196	110,026	95,287
155	5,675	55,58	66	16,673	24,505	3,445	110,275	95,502
156	5,578	55,58	66	16,673	24,505	3,328	110,158	95,401
157	5,554	55,58	66	16,673	24,505	3,299	110,129	95,376
158	5,554	55,58	66	16,673	24,505	3,299	110,129	95,376
159	5,554	55,58	66	16,673	24,505	3,299	110,129	95,376
160	5,322	55,58	66	16,673	24,505	3,029	109,859	95,143
161	5,322	55,58	66	16,673	24,505	3,029	109,859	95,143
162	5,528	55,58	66	16,673	24,505	3,269	110,098	95,350
163	5,559	55,58	66	16,673	24,505	3,305	110,135	95,381
164	5,559	55,58	66	16,673	24,505	3,305	110,135	95,381
165	5,516	55,58	66	16,673	24,505	3,254	110,084	95,337
166	5,179	55,58	66	16,673	24,505	2,869	109,699	95,005
167	5,376	55,58	66	16,673	24,505	3,091	109,921	95,197
168	5,376	55,58	66	16,673	24,505	3,091	109,921	95,197
169	5,395	55,58	66	16,673	24,505	3,113	109,943	95,215
170	5,395	55,58	66	16,673	24,505	3,113	109,943	95,215
171	5,461	55,58	66	16,673	24,505	3,190	110,020	95,282
172	5,369	55,58	66	16,673	24,505	3,083	109,913	95,190
173	5,441	55,58	66	16,673	24,505	3,166	109,996	95,261

174	5,441	55,58	66	16,673	24,505	3,166	109,996	95,261
175	5,441	55,58	66	16,673	24,505	3,166	109,996	95,261
176	4,932	55,58	66	16,673	24,505	2,602	109,432	94,775
177	5,066	55,58	66	16,673	24,505	2,745	109,575	94,898
178	5,066	55,58	66	16,673	24,505	2,745	109,575	94,898
179	4,662	55,58	66	16,673	24,505	2,325	109,155	94,536
180	5,567	55,58	66	16,673	24,505	3,315	110,145	95,389
181	5,567	55,58	66	16,673	24,505	3,315	110,145	95,389

```

      *
      ***** ** ***** *****
** ** **      ***** ***** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
***** ***** ** ***** ***** ***** ** ** ** ** **
** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** ** **
** *****

```

Pipe Stress Analysis and Design Program  
Version: 09.06.00.15  
Edition: Advanced  
Developed and Maintained by  
BENTLEY SYSTEMS, INCORPORATED  
Walnut Creek, CA 94596

1600 Riviera Ave., Suite 300

-----support 3  
bismillah 07/03/2018 TA ANYA  
BENTLEY 11:29 AM AutoPIPE Advanced 9.6.0.15  
-----

\*\*\*\*\* \*\*  
\*\* \*\* AUTOPIPE SYSTEM INFORMATION \*\* \*\*  
\*\* \*\*\*\*\*

SYSTEM NAME : support 3 bismillah

PROJECT ID : TA ANYA

PREPARED BY : \_\_\_\_\_ ANYA

CHECKED BY : \_\_\_\_\_ PENUJI

1ST APPROVER : \_\_\_\_\_

2ND APPROVER : \_\_\_\_\_

PIPING CODE : ASME B31.4

YEAR : 2012

VERTICAL AXIS : Z

AMBIENT TEMPERATURE : 55.0 deg C

COMPONENT LIBRARY : AUTOPIPE

MATERIAL LIBRARY : B314-12

MODEL REVISION NUMBER : 0

CENTER OF GRAVITY REPORT

Description	Weight	X CoG	Y CoG	Z CoG	
(kg) (mm) (mm) (mm)	-----				
----- Valve	:	0.00	0.00	0.00	Support
: 0.00 0.00 0.00 0.00	Flange				: 0.00 0.00
0.00 0.00 Flexible Joint	:	0.00	0.00	0.00	0.00
Additional Weight	:	0.00	0.00	0.00	Pipes (Run, Bend,
Tee, Reducer)	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22

PipeTot (Valve+Support+Flange+Flex. Jt.+Add. Wt.+Pipes): 320667.91 533428.88 799854.00 - 2900.22

Insulation	:	0.00	0.00	0.00	0.00	Cladding
: 0.00 0.00 0.00 0.00	Lining					: 0.00 0.00 0.00
0.00 Contents	:	197331.56	533428.81	799854.00	-2900.22	
Beam	:	0.00	0.00	0.00	0.00	

PipeTot + Ins.	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot +
Ins. + Clad.	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot + Ins. +
Clad. + Lin.	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot + Ins. + Clad. +
Lin. + Cont.	:	517999.50	533428.69	799853.88	-2900.22	

PipeTot + Beam	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot
+ Ins. + Beam	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot + Ins. +
Clad. + Beam	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot + Ins. +
Clad. + Lin. + Beam	:	320667.91	533428.88	799854.00	-2900.22	PipeTot + Ins. +
Clad. + Lin. + Cont. + Beam	:	517999.50	533428.69	799853.88	-2900.22	

NOTE: COG report only includes the currently visible beams and segments. All pipe segments are included. No beams present in the model. -----

ASME B31.4 (2012) CODE COMPLIANCE

(Moments in N.m )	(Stress in N/mm2 )	Point	Load	In-Pl.
-------------------	--------------------	-------	------	--------



Out-Pl.	Shear	Axial	Bending	Code	Code	name	combination	Moment
Moment	Stress	Stress	Stress	Type	Stress Allow.	-----	-----	-----
-----								

A67 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
 HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 237291.3 3940.93 0.96 -89.75 124.27 RFUN 277.93 217.18\*\*  
 LONG 214.02 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A67 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
 HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 237204.5 3183.86 2.03 -89.14 124.22 RFUN 277.29 217.18\*\*  
 LONG 213.36 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A67 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
 HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 237291.3 3940.93 0.96 -89.75 124.27 RFUN 277.93 217.18\*\*  
 LONG 214.02 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A67 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
 HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 237204.5 3183.86 2.03 -89.14 124.22 RFUN 277.29 217.18\*\*  
 LONG 213.36 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A69 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 65424.17222355.8 2.20 -89.88 121.36 RFUN 275.18 217.18\*\*  
LONG 211.25 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A69 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 66882.62222025.5 1.30 -90.40 121.42 RFUN 275.73 217.18\*\*  
LONG 211.82 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A69 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 65424.17222355.8 2.20 -89.88 121.36 RFUN 275.18 217.18\*\*  
LONG 211.25 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A69 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 66882.62222025.5 1.30 -90.40 121.42 RFUN 275.73 217.18\*\*  
LONG 211.82 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A37 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 6161.74223922.9 0.59 -76.03 117.29 RFUN 257.23 217.18\*\*  
LONG 193.32 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A37 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 6009.32223926.5 0.60 -77.27 117.29 RFUN 258.47 217.18\*\*  
LONG 194.57 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A113 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 2821.08190072.8 0.21 -94.76 99.54 RFUN 258.20 217.18\*\*  
LONG 194.30 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A113 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 2851.08190073.1 0.15 -94.64 99.54 RFUN 258.08 217.18\*\*  
LONG 194.17 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A113 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 2821.08190072.8 0.21 -94.76 99.54 RFUN 258.20 217.18\*\*  
LONG 194.30 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A113 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 2851.08190073.1 0.15 -94.64 99.54 RFUN 258.08 217.18\*\*  
LONG 194.17 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A37 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 6161.74223922.9 0.59 -76.03 117.29 RFUN 257.23 217.18\*\*  
LONG 193.32 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A37 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 6009.32223926.5 0.60 -77.27 117.29 RFUN 258.47 217.18\*\*  
LONG 194.57 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A65 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 149962.5103992.4 0.61 -90.55 95.56 RFUN 250.01 217.18\*\*  
LONG 186.10 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A65 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 149610.3104450.9 1.03 -90.31 95.54 RFUN 249.76 217.18\*\*  
LONG 185.85 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A65 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 149962.5103992.4 0.61 -90.55 95.56 RFUN 250.01 217.18\*\*  
LONG 186.10 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A65 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 149610.3104450.9 1.03 -90.31 95.54 RFUN 249.76 217.18\*\*  
LONG 185.85 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A59 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 176629.2 6711.16 0.64 -91.44 92.55 RFUN 247.90 217.18\*\*  
LONG 183.99 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A59 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00

REST Max P{1}

HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 176628.9 6553.11 0.75 -91.28 92.55 RFUN 247.74 217.18\*\*  
LONG 183.83 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A59 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00

REST Max P{1}

HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 176629.2 6711.16 0.64 -91.44 92.55 RFUN 247.90 217.18\*\*  
LONG 183.99 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A59 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00

REST Max P{1}

HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 176628.9 6553.11 0.75 -91.28 92.55 RFUN 247.74 217.18\*\*  
LONG 183.83 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A64 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00

REST Max P{1}

HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 160595.817620.03 1.13 -91.12 84.60 RFUN 239.62 217.18\*\*  
LONG 175.71 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A64 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 160665.217359.30 0.61 -90.84 84.62 RFUN 239.36 217.18\*\*  
LONG 175.46 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A64 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 160595.817620.03 1.13 -91.12 84.60 RFUN 239.62 217.18\*\*  
LONG 175.71 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A64 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 160665.217359.30 0.61 -90.84 84.62 RFUN 239.36 217.18\*\*  
LONG 175.46 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A03 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 335613.426512.45 0.60 2.38 176.28 RFUN 237.80 217.18\*\*  
LONG 178.66 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A03 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 335951.321854.86 0.49 0.91 176.28 RFUN 239.28 217.18\*\*  
LONG 177.19 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A128 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 54824.53140157.1 0.00 -95.65 78.80 RFUN 238.35 217.18\*\*  
LONG 174.45 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A128 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 54765.72140180.0 0.05 -95.75 78.80 RFUN 238.46 217.18\*\*  
LONG 174.55 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A128 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}

GRTP1{1} 54824.53140157.1 0.00 -95.65 78.80 RFUN 238.35 217.18\*\*  
LONG 174.45 217.18

REST: Amb to T1{1}

REXP 118.86 217.18

A128 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00  
HOOP 63.90 173.75

REST Max P{1}



GRTP1{1} 54765.72140180.0 0.05 -95.75 78.80 RFUN 238.46 217.18\*\*  
LONG 174.55 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A115 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 9188.19150553.5 0.15 -94.79 78.98 RFUN 237.67 217.18\*\*  
LONG 173.76 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A115 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 9220.15150552.2 0.10 -94.92 78.98 RFUN 237.81 217.18\*\*  
LONG 173.90 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

A03 - SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75

GRTP1{1} 335613.426512.45 0.60 2.38 176.28 RFUN 237.80 217.18\*\*  
LONG 178.66 217.18

REST: Amb to T1{1} REXP 118.86 217.18

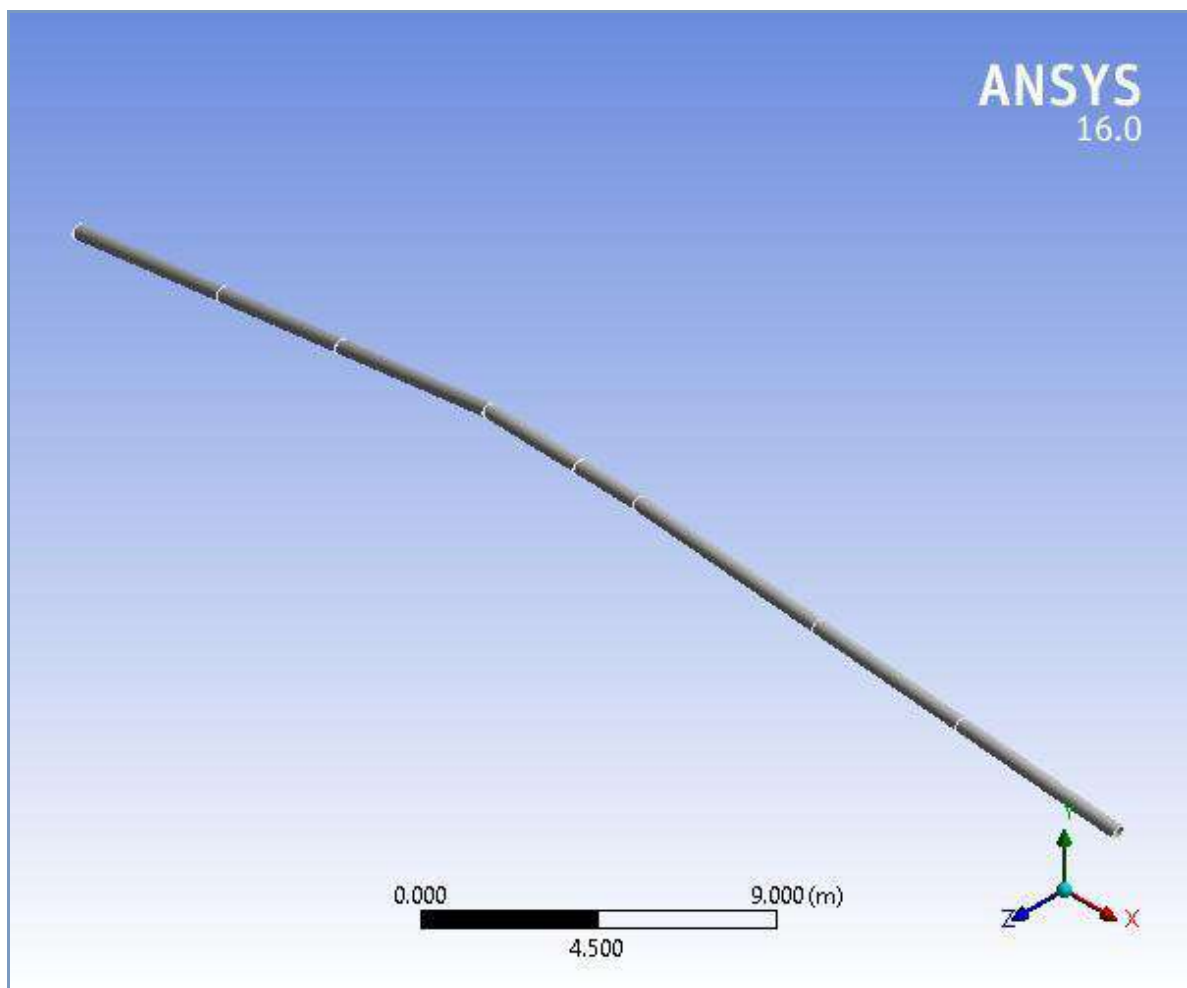
A03 + SIFI= 1.00 SIFO= 1.00 REST Max P{1}  
HOOP 63.90 173.75





## Project

First Saved	Sunday, July 1, 2018
Last Saved	Sunday, July 1, 2018
Product Version	16.0 Release
Save Project Before Solution	No
Save Project After Solution	No



## Contents

- [Units](#)
  - [Model \(A4\)](#)
    - [Geometry](#)
      - [Solid](#)
    - [Coordinate Systems](#)
    - [Mesh](#)
    - [Named Selections](#)
    - [Static Structural \(A5\)](#)
      - [Analysis Settings](#)
      - [Loads](#)
      - [Solution \(A6\)](#)
        - [Solution Information](#)
        - [Results](#)
        - [Strain Probe](#)
  - [Material Data](#)
    - [Structural Steel](#)

## Units

TABLE 1

Unit System	Metric (m, kg, N, s, V, A) Degrees rad/s Celsius
Angle	Degrees
Rotational Velocity	rad/s
Temperature	Celsius

## Model (A4)

### Geometry

TABLE 2  
Model (A4) > Geometry

Object Name	Geometry
State	Fully Defined
Definition	
Source	E:\anya fix laporan\3 support fix bismialla ya Alloh maha baik\Mitiasi 3 support\Mitiasi_files\dp0\SYS\DM\SYS.agdb
Type	DesignModeler
Length Unit	Meters
Element Control	Program Controlled
Display Style	Body Color
Bounding Box	
Length X	37.262 m
Length Y	2.2275 m
Length Z	0.4064 m
Properties	
Volume	0.76638 m <sup>3</sup>
Mass	6016.1 kg
Scale Factor Value	1.
Statistics	
Bodies	1
Active Bodies	1

Nodes	85392
Elements	12186
Mesh Metric	None
Basic Geometry Options	
Parameters	Yes
Parameter Key	DS
Attributes	No
Named Selections	No
Material Properties	No
Advanced Geometry Options	
Use Associativity	Yes
Coordinate Systems	No
Reader Mode Saves Updated File	No
Use Instances	Yes
Smart CAD Update	No
Compare Parts On Update	No
Attach File Via Temp File	Yes
Temporary Directory	C:\Users\w10\AppData\Roaming\Ansys\v160
Analysis Type	3-D
Decompose Disjoint Geometry	Yes
Enclosure and Symmetry Processing	Yes

TABLE 3  
Model (A4) > Geometry > Parts

Object Name	Solid
State	Meshed
Graphics Properties	
Visible	Yes
Transparency	1
Definition	
Suppressed	No
Stiffness Behavior	Flexible
Coordinate System	Default Coordinate System
Reference Temperature	By Environment
Material	
Assignment	Structural Steel
Nonlinear Effects	Yes
Thermal Strain Effects	Yes
Bounding Box	
Length X	37.262 m
Length Y	2.2275 m
Length Z	0.4064 m
Properties	
Volume	0.76638 m <sup>3</sup>
Mass	6016.1 kg
Centroid X	18.597 m
Centroid Y	0.96719 m
Centroid Z	-1.8675e-005 m
Moment of Inertia Ip1	2008.4 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip2	6.9063e+005 kg·m <sup>2</sup>
Moment of Inertia Ip3	6.9241e+005 kg·m <sup>2</sup>
Statistics	
Nodes	85392
Elements	12186
Mesh Metric	None

## Coordinate Systems

TABLE 4  
Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System

Model (A4) > Coordinate Systems > Coordinate System		
Object Name	Global Coordinate System	Coordinate System
State	Fully Defined	
Definition		
Type	Cartesian	Cylindrical
Coordinate System ID	0.	
Coordinate System	Program Controlled	
Suppressed	No	
Origin		
Origin X	0. m	14.69 m
Origin Y	0. m	1.5979 m
Origin Z	0. m	1.829e-005 m
Define By	Geometry Selection	
Geometry	Defined	
Directional Vectors		
X Axis Data	[ 1. 0. 0. ]	
Y Axis Data	[ 0. 1. 0. ]	
Z Axis Data	[ 0. 0. 1. ]	
Principal Axis		
Axis	X	
Define By	Global X Axis	
Orientation About Principal Axis		
Axis	Y	
Define By	Default	
Transformations		
Base Configuration	Absolute	
Transformed Configuration	[ 14.69 1.5979 1.829e-005 ]	

## Mesh

TABLE 5  
Model (A4) > Mesh

Object Name	Mesh
State	Solved
Display	
Display Style	Body Color
Defaults	
Physics Preference	Mechanical
Relevance	100
Sizing	
Use Advanced Size Function	Off
Relevance Center	Coarse
Element Size	Default
Initial Size Seed	Active Assembly
Smoothing	Medium
Transition	Fast
Span Angle Center	Coarse
Minimum Edge Length	1.16690 m
Inflation	
Use Automatic Inflation	None
Inflation Option	Smooth Transition
Transition Ratio	0.272
Maximum Layers	5
Growth Rate	1.2

Inflation Algorithm	Pre
View Advanced Options	No
Patch Conforming Options	
Triangle Surface Mesher	Program Controlled
Patch Independent Options	
Topology Checking	Yes
Advanced	
Number of CPUs for Parallel Part Meshing	Program Controlled
Shape Checking	Standard Mechanical
Element Midside Nodes	Program Controlled
Straight Sided Elements	No
Number of Retries	0
Extra Retries For Assembly	Yes
Rigid Body Behavior	Dimensionally Reduced
Mesh Morphing	Disabled
Defeaturing	
Pinch Tolerance	Please Define
Generate Pinch on Refresh	No
Automatic Mesh Based Defeaturing	On
Defeaturing Tolerance	Default
Statistics	
Nodes	85392
Elements	12186
Mesh Metric	None

## Named Selections

TABLE 6  
Model (A4) > Named Selections > Named Selections

Model (A4) > Named Selections > Named Selections		
Object Name	Problematic Geometry	Problematic Geometry 2
State	Suppressed	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	No Selection	
Definition		
Send to Solver	Yes	
Visible	Yes	
Program Controlled Inflation	Exclude	
Statistics		
Type	Manual	
Total Selection	No Selection	
Suppressed	0	
Used by Mesh Worksheet	No	

## Static Structural (A5)

TABLE 7  
Model (A4) > Analysis

Object Name	Static Structural (A5)
State	Solved
Definition	
Physics Type	Structural
Analysis Type	Static Structural
Solver Target	Mechanical APDL
Options	
Environment Temperature	55. °C
Generate Input Only	No

TABLE 8  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings

Object Name	Analysis Settings
State	Fully Defined
Step Controls	
Number Of Steps	10.
Current Step Number	2.
Step End Time	2. s
Auto Time Stepping	Program Controlled
Solver Controls	
Solver Type	Iterative
Weak Springs	Program Controlled
Solver Pivot Checking	Program Controlled
Large Deflection	Off
Inertia Relief	Off
Restart Controls	
Generate Restart Points	Program Controlled
Retain Files After Full Solve	Yes
Nonlinear Controls	
Newton-Raphson Option	Full
Force Convergence	Program Controlled
Moment Convergence	Program Controlled
Displacement Convergence	Program Controlled
Rotation Convergence	Program Controlled
Line Search	Program Controlled
Stabilization	Off
Output Controls	
Stress	Yes
Strain	Yes
Nodal Forces	No
Contact Miscellaneous	No
General Miscellaneous	No
Store Results At	All Time Points
Analysis Data Management	
Solver Files Directory	E:\anya fix laporan\3 support fix bismialla ya Alloh maha baik\Mitiasi 3 support\Mitiasi_files\dp0\SYS\MECH\
Future Analysis	None
Scratch Solver Files Directory	
Save MAPDL db	No
Delete Unneeded Files	Yes
Nonlinear Solution	Yes
Solver Units	Active System
Solver Unit System	mks

TABLE 9  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings  
Step-Specific "Step Controls"

Step	Step End Time
1	1. s
2	2. s
3	3. s
4	4. s
5	5. s
6	6. s
7	7. s



8	8. s
9	9. s
10	10. s

TABLE 10  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Analysis Settings  
Step-Specific "Nonlinear Controls"

Step	Force Convergence	--Value	-- Tolerance	-- Minimum Reference	Moment Convergence	Displacement Convergence	Rotation Convergence	Line Search
1	On	Calculated by solver	0.5%	0. °	On	On	On	On
2	Program Controlled				Program Controlled	Program Controlled	Program Controlled	Program Controlled
3								
4								
5								
6								
7								
8								
9		Calculated by solver	0.5%	0. m		On		
10						Program Controlled		

TABLE 11  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Loads

Object Name	Thermal Condition	Pressure	Force	Force 2	Fixed Support	Fixed Support 2
State	Fully Defined					
Scope						
Scoping Method	Geometry Selection					
Geometry	1 Body	8 Faces	9 Faces	8 Faces	2 Faces	1 Edge
Definition						
Type	Thermal Condition	Pressure	Force		Fixed Support	
Magnitude	105. °C (ramped)					
Suppressed	No					
Define By		Components				
Coordinate System		Global Coordinate System				
X Component		4.5e+006 Pa (ramped)	92100 N (ramped)	0. N (ramped)		
Y Component		0. Pa (ramped)	0. N (ramped)	-1.537e+005 N (ramped)		
Z Component		0. Pa (ramped)	0. N (ramped)			

FIGURE 1  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Thermal Condition

Max Refinement Loops	1.
Refinement Depth	2.
Information	
Status	Done
Post Processing	
Calculate Beam Section Results	No

TABLE 13  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Solution Information

Object Name	Solution Information
State	Solved
Solution Information	
Solution Output	Solver Output
Newton-Raphson Residuals	0
Update Interval	2.5 s
Display Points	All
FE Connection Visibility	
Activate Visibility	Yes
Display	All FE Connectors
Draw Connections Attached To	All Nodes
Line Color	Connection Type
Visible on Results	No
Line Thickness	Single
Display Type	Lines

TABLE 14  
Model (A4) > Static Structural (A5) > Solution (A6) > Results

Object Name	Normal Elastic Strain	Equivalent Elastic Strain
State	Solved	
Scope		
Scoping Method	Geometry Selection	
Geometry	All Bodies	
Definition		
Type	Normal Elastic Strain	Equivalent Elastic Strain
Orientation	Z Axis	
By	Time	
Display Time	Last	
Coordinate System	Global Coordinate System	
Calculate Time History	Yes	
Identifier		
Suppressed	No	
Integration Point Results		
Display Option	Averaged	
Average Across Bodies	No	
Results		
Minimum	-1.5115e-002 m/m	2.4802e-006 m/m
Maximum	1.8148e-002 m/m	4.7005e-003 m/m
Minimum Value Over Time		
Minimum	-1.5115e-002 m/m	2.4802e-006 m/m
Maximum	-1.5115e-002 m/m	2.4802e-006 m/m
Maximum Value Over Time		
	1.8148e-00	
Minimum	2 m/m	4.7005e-003 m/m
Maximum	1.8148e-002 m/m	4.7005e-003 m/m
Information		
Time	10. s	
Load Step	10	
Substep	1	
Iteration Number	11	

## BIODATA PENULIS



**Anadya Restiana** atau yang biasa dikenal sebagai Anya merupakan penulis yang berasal dari Palu, Sulawesi Tengah. Penulis dilahirkan di Bandung, Jawa Barat pada tanggal 23 Oktober 1996 dari pasangan orang tua Dr. Muhammad Natsir, SE., M.Si dan (Alm) Asih Mariani sebagai anak ketiga dari enam bersaudara. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari SD Inpres 1 Birobuli yang kemudian dilanjutkan ke SMP Negeri 2 Palu, dan SMA Negeri 1 Palu hingga akhirnya bisa menempuh masa kuliah di Departemen Teknik Kelautan Fakultas Teknologi Kelautan Institut Teknologi Sepuluh November Surabaya.

Penulis juga aktif dalam berbagai kegiatan baik di dalam kampus maupun di luar kampus. Di dalam kampus, Penulis terlibat aktif sebagai Sekretaris Departemen Hubungan Luar Himpunan Mahasiswa Teknik Kelautan (HIMATEKLA) pada masa bakti 2015/2016, Kepala Eksternal Departemen Hublu HIMATEKLA pada masa bakti 2016/2017, dan Koordinator Studi Ekskursi Teknik Kelautan 2017, serta Kepala Departemen Hubungan Luar BEM FTK pada masa bakti 2016/2017. Selain itu, Penulis juga aktif sebagai member NACE International ITS. Sementara di luar kampus, Penulis aktif sebagai Relawan *Aljabar Course* dan kegiatan sosial di Beswan Beasiswa Nusantara Cerdas BRI.

Penulis juga memiliki beberapa karir pre-profesional. Karir pre-profesional pertama penulis dimulai sebagai *Engineer Intern* di PT. JOB Pertamina Petrochina East Java dalam Divisi *Engineering (Pipeline)*. Karir pre-profesional kedua penulis sebagai *I&C Engineer Intern* di PT. Pertamina EP Cepu Asset 4 divisi *Engineering and Maintenance (Pipeline)*.

Akhir kata, dengan ketekunan, motivasi tinggi untuk terus berusaha dan belajar, serta dukungan kedua orangtua yang sangat berjasa, Penulis dapat menyelesaikan Sarjana S1 bidang Keahlian Produksi dengan Tugas Akhir berjudul “Analisa Mitigasi dari Upaya *Upheaval Buckling* Pada *Pipeline 16*” Antara *Block Valve 2* sampai *Block Valve 3*. Semoga dengan penulisan Tugas Akhir ini mampu memberikan kontribusi positif terhadap dunia pendidikan.